

Resum

El següent projecte té per objectiu principal dissenyar, calcular i analitzar amb detall l'estructura metàl·lica d'una nau industrial de grans dimensions, per l'empresa TOYOTA, situada al terme municipal de la Garriga, Vallès Oriental, al polígon industrial Can Tarrés.

L'estructura consta de dues naus acoblades entre elles, una nau principal de 54 m de longitud i una secundària de 30 m. Les naus estan realitzades amb pòrtics a dues aigües amb una llum de 25 m. La primera, es destinarà a taller, magatzem i zona d'exposició. La segona, que consta de dues plantes, es destinarà a serveis pel treballadors en la planta baixa (vestuaris, zones comunes, lavabos, etc.) i a oficines en la primera planta.

L'estructura de la nau es realitzarà amb perfils metàl·lics del tipus HEB pels pilars, IPE per les bigues, IPE i U per les corretges laterals i perfils conformats en fred Z per les corretges de coberta. El càlcul de l'estructura es realitzarà mitjançant un software de càlcul d'estructures, el programa CYPE 2011, pel que a l'estructura dels pòrtics, unions i fonamentació es refereix. La resta d'elements (corretges, pilars de façana, elements d'arriostrament, paviment...) s'obtidran mitjançant càlculs manuals. Per últim, els resultats obtinguts amb el software (les unions i la fonamentació) es comprovaran manualment.

Com a objectiu secundari d'aquest treball, es pretén projectar una instal·lació solar fotovoltaica a la coberta, connectada a la xarxa de consum, tot estudiant la rendibilitat i viabilitat econòmica de la inversió.

Finalment, s'inclou un estudi d'impacte ambiental i un pressupost del projecte.

Tot l'estudi es realitzarà seguint la normativa del Codi Tècnic d'Edificació (CTE) (adaptació espanyola de l'Eurocodi 3) i el EHE 08 pel càlcul de la fonamentació. De la mateixa manera, el projecte es guiarà pels els diferents marcs legals en cada fase del projecte.

SUMARI

Resum.....	pàg.1
Sumari.....	pàg.2
Glossari.....	pàg.9
Memòria	
1. Memòria descriptiva.....	pàg.13
1.1. Introducció.....	pàg.13
1.1.1. Origen del projecte.....	pàg.13
1.1.2. Requeriments previs.....	pàg.14
1.1.3. Abast.....	pàg.14
1.2. Funció i ús.....	pàg.15
1.3. Característiques de la parcel·la.....	pàg.15
1.3.1. Ubicació.....	pàg.15
1.3.2. Normativa d'edificació.....	pàg.16
1.4. Materials utilitzats.....	pàg.17
1.5. Accions.....	pàg.19
1.5.1. Accions permanents.....	pàg.19
1.5.1.1. Pes propi.....	pàg.19
1.5.1.2. Càrregues permanents.....	pàg.19
1.5.2. Accions variables.....	pàg.20
1.5.2.1. Sobrecàrregues d'ús.....	pàg.21
1.5.2.2. Neu.....	pàg.22
1.5.2.3. Acció tèrmica.....	pàg.23
1.5.2.4. Acció del vent.....	pàg.24
1.5.3. Accions accidentals.....	pàg.29
1.5.3.1. Sisme.....	pàg.29
1.5.3.2. Incendi.....	pàg.30
1.5.3.3. Impacte de vehicles.....	pàg.31
1.6. Estructura.....	pàg.31
1.6.1. Tipologia estructural.....	pàg.31
1.6.2. Càlcul estructural.....	pàg.33
1.6.2.1. Càlculs amb el CYPE 2011.....	pàg.34
1.6.2.2. Càlculs realitzats a mà.....	pàg.35

1.6.2.3. Forjat col·laborant.....	pàg.39
1.6.2.4. Estats límits.....	pàg.40
1.6.2.4.1. Estats límits últims.....	pàg.40
1.6.2.4.2. Estats límits de servei.....	pàg.41
1.7. Unions.....	pàg.41
1.8. Fonamentació.....	pàg.45
1.9. Paviment.....	pàg.47
1.9.1. Definicions prèvies.....	pàg.47
1.9.2. Càlcul de l'espessor de formigó.....	pàg.47
1.9.3. Juntres.....	pàg.50
1.9.4. Dimensionament de l'acer (retracció i temperatura).....	pàg.52
1.10. Tancaments.....	pàg.54
1.10.1. Tancaments de coberta, façanes laterals i façana posterior.....	pàg.54
1.10.1.1. Característiques tècniques.....	pàg.56
1.10.2. Tancament de façana frontal.....	pàg.57
1.10.2.1. Característiques tècniques.....	pàg.58
1.10.2.2. Descripció dels components.....	pàg.59
1.10.2.3. Descripció del sistema.....	pàg.59
1.10.3. Mur perimetral.....	pàg.61
1.10.4. Finestral.....	pàg.63
1.11. Acabats.....	pàg.63
1.11.1. Canals i baixants.....	pàg.63
1.12. Instal·lació solar fotovoltaica.....	pàg.66
1.12.1. Descripció general de la instal·lació.....	pàg.66
1.12.2. Descripció dels elements de la instal·lació.....	pàg.67
1.12.2.1. Costat continua (CC).....	pàg.67
1.12.2.2. Costat d'alterna (CA).....	pàg.67
1.12.2.3. Proteccions de la instal·lació.....	pàg.68
1.12.2.4. Pressupost i anàlisi econòmic de la instal·lació.....	pàg.68
1.12.3. Descripció de la subestructura de suport dels panells.....	pàg.69
2. Memòria de càlcul.....	pàg.72
2.1.Càlcul de l'estructura.....	pàg.72
2.1.1. Criteri de comprovacions dels perfils.....	pàg.73

2.1.1.1. Resistència de les seccions.....	pàg.74
2.1.1.2. Verificacions a realitzar en cada element.....	pàg.75
2.1.1.2.1. Elements comprimits i flectats.....	pàg.75
2.1.1.2.2. Fletxes màximes admissibles.....	pàg.77
2.1.1.2.3. Estudi de vinclament.....	pàg.77
2.1.2. Estudi de les accions.....	pàg.79
2.1.2.1. Càrregues permanents.....	pàg.80
2.1.2.2. Sobre càrrega d'us.....	pàg.80
2.1.2.3. Sobre càrrega de neu.....	pàg.81
2.1.2.4. Acció del vent.....	pàg.83
2.1.3. Pla transversal.....	pàg.90
2.1.3.1. Estudi amb el software de càlcul.....	pàg.90
2.1.3.1.1. Estudi de vinclament.....	pàg.91
2.1.3.2. Pòrtic tipus 1.....	pàg.95
2.1.3.2.1. Accions.....	pàg.95
2.1.3.2.2. Estat de càrregues.....	pàg.97
2.1.3.2.3. Diagrames i valors màxims i mínims.....	pàg.99
2.1.3.3. Pòrtic tipus 2.....	pàg.101
2.1.3.3.1. Accions.....	pàg.101
2.1.3.3.2. Estat de càrregues.....	pàg.104
2.1.3.3.3. Diagrames i valors màxims i mínims.....	pàg.105.
2.1.3.4. Pòrtic tipus 3.....	pàg.108
2.1.3.3.1. Accions.....	pàg.108
2.1.3.3.2. Estat de càrregues.....	pàg.110
2.1.3.3.3. Diagrames i valors màxims i mínims.....	pàg.112
2.1.5. Corretges.....	pàg.114
2.1.5.1. Corretges de coberta.....	pàg.115
2.1.5.1.1. Accions que suporten.....	pàg.115
2.1.5.1.2. Dimensionament de les corretges.....	pàg.117
2.1.5.1.3. Comprovació del perfil.....	pàg.117
2.1.5.2. Corretges laterals.....	pàg.117
2.1.5.2.1. Accions que suporten.....	pàg.118
2.1.5.2.2. Dimensionament de les corretges.....	pàg.118
2.1.5.2.3. Comprovació del perfil.....	pàg.118

2.1.5.3. Corretges de façanes frontals.....	pàg.119
2.1.5.3.1. Accions que suporten.....	pàg.119
2.1.5.3.2. Dimensionament de les corretges.....	pàg.119
2.1.5.3.3. Comprovació del perfil.....	pàg.120
2.1.6. Pilars de façana.....	pàg.120
2.1.6.1. Càlcul dels pilars de façana.....	pàg.121
2.1.6.1.1. Estudi de les reaccions.....	pàg.122
2.1.6.1.2. Dimensionament del pilar.....	pàg.127
2.1.6.1.3. Comprovació del perfil.....	pàg.127
2.1.6.1.3.1. Estudi de vinclament.....	pàg.127
2.1.6.1.3.2. Comprovació a flexió i a compressió axial.....	pàg.129
2.1.6.1.3.3. Comprovació de la fletxa.....	pàg.132
2.1.7. Arriostament de la nau.....	pàg.133
2.1.7.1. Creus de Sant Andreu.....	pàg.133
2.1.7.1.1. Creus de Sant Andreu de façanes laterals.....	pàg.134
2.1.7.1.2. Creus de Sant Andreu amb façanes de coberta.....	pàg.136
2.1.7.2. Perfil d'unió tubulars.....	pàg.139
2.1.7.2.1. Perfils de unió dels caps dels pilars.....	pàg.139
2.1.7.2.1.1. Estudi del perfil a vinclament.....	pàg.140
2.1.7.2.1.2. Comprovació del perfil.....	pàg.142
2.1.7.2.2. Perfils de transmissió d'esforços.....	pàg.142
2.1.8. Comprovacions de les unions.....	pàg.143
2.1.8.1. Càlcul i dimensionat dels suports dels pilars.....	pàg.143
2.1.8.1.1. Resistència dels cargols d'ancoratge.....	pàg.144
2.1.8.1.2. Comprovació de la resistència de la unió a l'esforç axial i moment combinats.....	pàg.145
2.1.8.1.3. Resistència a tallant de la unió.....	pàg.152
2.1.8.2. Unió pilar llinda.....	pàg.153
2.1.8.1.1. Moment resistent de càlcul a la unió pilar llinda.....	pàg.154
2.1.8.1.2. Comprovació dels cargols.....	pàg.156
2.1.9. Comprovació de les sabates.....	pàg.157
2.1.9.1. Comprovació de la tensió admissible del terreny.....	pàg.159
2.1.9.2. Comprovació a bolcada de la sabata.....	pàg.160
2.1.9.3. Comprovació a lliscament de la sabata.....	pàg.160

2.1.9.4. Càlcul de l'armat necessari.....	pàg.160
2.1.9.4.1. Armat inferior.....	pàg.160
2.1.9.4.2. Armat superior.....	pàg.162
2.1.10. Càlcul del forjat col·laborant.....	pàg.163
2.2. Càlcul de la instal·lació solar fotovoltaica.....	pàg.166
2.2.1. Introducció.....	pàg.166
2.2.1.1. Resum.....	pàg.166
2.2.1.2. Abast.....	pàg.167
2.2.1.3. Marc legal.....	pàg.167
2.2.2. Descripció de la instal·lació fotovoltaica.....	pàg.168
2.2.2.1. Descripció general.....	pàg.168
2.2.2.2. Descripció dels components.....	pàg.169
2.2.2.2.1. Mòdul solar.....	pàg.169
2.2.2.2.2. Subgenerador fotovoltaic.....	pàg.171
2.2.2.2.3. Inversors.....	pàg.171
2.2.2.3. Instal·lació elèctrica de consum.....	pàg.176
2.2.2.4. Instal·lació elèctrica de generació.....	pàg.176
2.2.2.4.1. Elements de protecció de CC.....	pàg.178
2.2.2.4.1.1. Protecció contra contactes directes.....	pàg.178
2.2.2.4.1.2. Protecció contra contactes indirectes.....	pàg.179
2.2.2.4.1.3. Protecció contra sobrecàrregues i curtcircuits.....	pàg.179
2.2.2.4.1.4. Protecció contra sobretensions.....	pàg.181
2.2.2.4.2. Element de protecció CA.....	pàg.181
2.2.2.4.2.1. Protecció contra contactes directes.....	pàg.181
2.2.2.4.2.2. Protecció contra contactes indirectes.....	pàg.181
2.2.2.4.2.3. Protecció contra sobrecàrregues i curtcircuits.....	pàg.182
2.2.2.4.2.4. Protecció contra pics de tensió.....	pàg.184
2.2.2.4.2.5. Protecció contra el funcionament en illa de l'inversor.....	pàg.184
2.2.2.4.2.6. Aïllament galvànic.....	pàg.185
2.2.2.4.3. Elements de mesura.....	pàg.185
3.2.2.4.3.1. Instal·lació de generació. Conjunt de Protecció i Mesura (CPM).....	pàg.185
2.2.2.4.4. Caixa General de Protecció (CGP).....	pàg.186
2.2.2.4.5. Caixa de seccionament (CS).....	pàg.187

2.2.2.4.6. Posada a terra.....	pàg.187
2.2.2.4.6.1. Costat de CC.....	pàg.188
2.2.2.4.6.2. Costat de CA.....	pàg.189
2.2.2.5. Connexió a la xarxa elèctrica.....	pàg.189
2.2.3. Dimensionament de la instal·lació.....	pàg.190
2.2.3.1. Dimensionament del generador.....	pàg.190
2.2.3.1.1. Dimensionament previ.....	pàg.190
2.2.3.1.2. Tensions dels mòduls a temperatures extremes.....	pàg.190
2.2.3.2. Dimensionament dels inversors.....	pàg.191
2.2.3.2.1. Determinació de la potència nominal dels inversors.....	pàg.191
2.2.3.2.2. Ubicació dels inversors.....	pàg.193
2.2.3.2.3. Ajustament i comprovació del número final de cadenes i número de mòduls per inversor.....	pàg.193
2.2.3.3. Instal·lació definitiva.....	pàg.194
2.2.3.4. Dimensionament de les proteccions elèctriques.....	pàg.195
2.2.3.4.1. Proteccions de la part de CC.....	pàg.195
2.2.3.4.2. Proteccions a la part de CA.....	pàg.196
2.2.3.4.2.1. Magnetotèrmic individual per cada inversor.....	pàg.196
2.2.3.4.2.2. Magnetotèrmic general.....	pàg.197
2.2.3.4.2.3 Diferencial general.....	pàg.198
2.2.3.5. Dimensionament del cablejat.....	pàg.198
2.2.3.5.1. Cablejat del costat de CC.....	pàg.198
2.2.3.5.2. Cablejat del costat de CA.....	pàg.200
2.2.3.6. Càlcul de pèrdues.....	pàg.202
2.2.3.6.1. Pèrdues per inclinació i orientació.....	pàg.202
2.2.3.6.2. Pèrdues per ombrejat.....	pàg.203
2.2.3.6.3. Pèrdues elèctriques.....	pàg.203
2.2.3.6.4. Pèrdues per temperatura.....	pàg.204
2.2.3.6.5. Pèrdues per brutícia dels mòduls.....	pàg.205
2.2.3.6.6. Pèrdues per degradació fotònica.....	pàg.205
2.2.3.6.7. Pèrdues per rangs de potència diferents dels plafons.....	pàg.206
2.2.3.6.8. Resum de pèrdues.....	pàg.206
2.2.4. Justificació de la solució adoptada.....	pàg.208
2.2.4.1. Tipus de tecnologia fotovoltaica escollida.....	pàg.208

2.2.4.2. Justificació de les pèrdues produïdes per culpa de la inclinació dels mòduls.....	pàg.209
2.2.4.3. Inversor central o diversos inversors.....	pàg.210
2.2.4.3.1. Un únic inversor.....	pàg.210
2.2.4.3.2. Diversos inversors en cadena.....	pàg.211
2.2.5. Producció anual esperada.....	pàg.212
2.2.6. Estructura de suport dels panells fotovoltaics.....	pàg.214
3. Memòria de plànols.....	pàg.217
3.1 Emplaçament	pàg.218
3.2 Planta- Fonaments.....	pàg.219
3.3 Planta baixa sense tancaments.....	pàg.220
3.4 Alçat sense tancaments.....	pàg.221
3.5 Planta baixa amb tancaments.....	pàg.222
3.6 Alçat amb tancaments.....	pàg.223
3.7.Planta altell.....	pàg.224
3.7 Detalls de les unions i la sabata.....	pàg.225
4. Estudi impacte ambiental.....	pàg.226
4.1. Detecció i prevenció dels impactes mediambientals.....	pàg.227
4.2. Normativa impacte ambiental.....	pàg.228
5. Pressupost.....	pàg.230
6. Rendibilitat econòmica.....	pàg.249
7. Conclusions.....	pàg.251
8. Agraïments.....	pàg.254
9. Bibliografia.....	pàg.255

Glossari

Normativa

PFER: Pla de Foment per a les Energies Renovables.

REBT: Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió.

BT: baixa tensió.

ITC-BT-i: Instrucció Tècnica Complementària per Baixa Tensió, número i.

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

PER: Pla d'Energies Renovables.

CTE.: Codi tècnic de l'Edificació.

DB SE-AE : Documento Básico Seguridad Estructural Acciones en la Edificación.

DB SE-C: Documento Básico Seguridad Estructural Cimientos.

DB SE-C: Documento Básico seguridad Estructural Acero.

Eurocodi 3: normativa europea.

Càlcul estructural

F_y : Tensió de límit elàstic (N/mm^2).

F_{yd} : Tensió de disseny del límit elàstic del material (N/mm^2).

F_u : Tensió de ruptura (N/mm^2).

γ_M : Coeficient parcial de seguretat del material.

X_y : Coeficient de vinclament.

λ : Esveltesa.

N_{cr} : N crítica d'Euler.

β : coeficient de les corbes de vinclament.

ψ : Factor de reducció de les accions.

$V_{pl,Rd}$: Resistència de la secció a tall (kN).

$N_{u,Rd}$: Resistència de la secció a compressió (kN).

$F_{v,Rd}$: Resistència a tallant de la unió (kN).

$F_{t,Rd}$: força a tallant de la unió (kN).

$M_{el,Rd}$: Resistència de la secció a flexió (kN·m)

$M_{pl,Rd}$: Resistència a flexió de ròtula plàstica serà (kN·m).

$M_{R,d}$: resistència a a càrrega M+N de la unió (kN·m).

A: Àrea; altitud sobre el nivell del mar; constant (mm^2).

G: Mòdul d'elasticitat transversal (N/mm^2).

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal (N/mm^2).

ρ : Densitat.

σ : tensió.

I: Moment d'inèrcia (cm^4).

W: Mòdul resistent (cm^3).

M: Moment flector (N·m).

N: Esforç axil (kN).

Q: Acció variable (kN).

V: Esforç tallant (kN).

f: Fletxa (cm).

h: altura (m).

x: Distància (m).

z: Altura de referència (m).

L: Longitud, llum (m).

x: Eix x.

y: Eix y.

z: Eix z.

n: Número.

k: Coeficient de forma de la neu.

s_k : Valor característic de la carrega de neu sobre un terreny horitzontal.

v_b : Valor bàsic de la velocitat del vent.

c_e : Coeficient d'exposició.

q_e : esforç del vent.

q_b : Valor bàsic de la pressió dinàmica del vent.

Càlcul instal·lació solar

P: potència.

V: voltatge.

I: intensitat de corrent.

S: secció del cable.

ρ : resistivitat del material conductor.

(% $V\Delta$) : diferencia de potencial en %.

$\cos \phi$: factor de potència.

Cdt: caiguda de tensió

IP: grau de protecció contra influències ambientals.

Wp: watts pic.

mpp: punt de màxima potència (maximum power point,).

oc: subíndex que es refereix a circuit obert.

sc: subíndex que es refereix a curtcircuit.

TONC: temperatura de cèl·lula normal d'operació.

$T_k (P_n)$: coeficient de temperatura per potencia.

$T_k (V_{oc})$: coeficient de temperatura per tensió de circuit obert.

$T_k (I_{sc})$: coeficient de temperatura per corrent de curtcircuit.

CC: corrent continu.

CA: corrent altern.

CGP: Caixa General de Protecció.

CS: Caixa de Seccionament.

Icu: poder de tall.

CPM: Conjunt de Protecció i Mesura.

M10: mètrica 10 (cargols).

T: temperatura.

inv: inversor (superíndex).

gen: generador (superíndex).

F: de fase (subíndex)

L de línia (subíndex)

màx: màxim.

mín: mínim.

k: factor corrector per superfícies inclinades.

α : angle azimuthal.

β : inclinació.

PR: Performance Ratio, o eficiència de la instal·lació en condicions reals de Funcionament.

Memòria

1. Memòria descriptiva

1.1. Introducció

1.1.1. Origen del projecte

El fet de realitzar aquest projecte ve motivat per la voluntat d'aprofundir en el camp del càlcul estructural i aprendre a utilitzar les eines de que es disposa avui en dia per fer-ho (programes informàtics, mètodes de càlcul, normativa vigent, etc.). S'ha triat projectar una nau industrial d'estructura metàl·lica ja que és la tipologia més estudiada en l'àmbit d'estructures al llarg de la carrera d'enginyeria tècnica, en la especialitat mecànica.

També ha tingut un pes important en la elecció d'aquest projecte fet de comprovar que hi ha molts polígons construïts sense cap tipus de producció energètica. Considerant aquesta una via d'expansió poc útil, ja que avui dia existeix una gran expansió de les energies renovables, sent-ne la solar la més inesgotable. A més, la utilització de grans superfícies que ja tenen un ús, com poden ser les cobertes de la nau, per la captació d'energia elèctrica és una bona manera de descentralitzar la producció energètica i contribuir a una millora del medi ambient. D'aquesta manera, crear un model de producció energètica basat en energies renovables en zones on existeix una gran demanda de consum.

A tot això, s'hi suma que la legislació actual afavoreix aquest tipus d'iniciatives, ja que les empreses estan obligades a comprar l'energia produïda, sempre que sigui de qualitat, a un preu superior al que l'usuari compra l'energia convencional. Per tant, una instal·lació de generació d'energia renovable és, a part de beneficiosa pel medi ambient, una inversió amb rendibilitat ja que una instal·lació solar fotovoltaica ha de donar beneficis encara que sigui a llarg termini.

1.1.2. Requeriments previs

El primer requeriment necessari per dur a terme el projecte, és disposar d'una parcel·la que acompleixi totes les característiques indispensables. Tot seguit, s'ha de conèixer bé la legislació per saber quines limitacions i/o obligacions té l'encarregat de l'obra.

Seguidament, per poder dur a terme la instal·lació de la planta solar fotovoltaica, s'ha de disposar d'un punt de connexió a la xarxa proper a la parcel·la i estudiar quina tecnologia s'usarà.

Tot seguit, s'ha d'estudiar la orientació de la nau, en funció de les dimensions de la parcel·la, per afavorir al màxim l'aprofitament de la radiació solar, així com evitar possibles ombres a la coberta.

Si les condicions són favorables, es requereix d'una base fiable de dades de la radiació solar que incideix en la zona per poder realitzar un estudi de la rendibilitat del projecte.

Un cop s'acompleixin tots aquests requeriments, ja es pot començar a donar forma al projecte.

1.1.3. Abast

El projecte inclou l'estudi, definició i càlcul de l'estructura geomètrica de la nau adequant-se a la normativa vigent. Així com el càlcul i comprovació de la resistència de l'estructura metàl·lica i la seva fonamentació.

S'han utilitzat softwares informàtics com a suport i ajuda per a la realització dels càlculs, realitzant després una comprovació manual. Es poden consultar les verificacions a la memòria de càlcul. Tots els càlculs estan adequats a la normativa vigent.

També s'ha estudiat una instal·lació solar fotovoltaica a la coberta de la nau, estudiant-ne tots els components necessaris, i realitzant un estudi de mercat segons les prestacions necessàries. Per últim, s'ha valorat la rendibilitat de la instal·lació i el cost que suposa realitzar-la.

Finalment s'ha fet un estudi dels possibles impactes que el projecte podria produir al medi ambient i com reduir-los, i un pressupost general de la totalitat del projecte.

1.2. Funció i ús

Després de que TOYOTA hagués de traslladar la fàbrica de recanvis a un altre país per motius econòmics, ha decidit dur a terme la construcció d'un gran magatzem per disposar d'un "stock" ampli i eficaç per a la distribució de peces a Catalunya.

La construcció consistirà en dos espais diferenciats. D'una banda, una nau industrial d'un pòrtic a dos aigües amb un ús diàfan, on no està del tot adjudicada la distribució dels espais, però que farà la funció de magatzem, taller i expositor. D'altra banda, una nau adjunta que constarà de planta baixa, on es disposarà dels serveis propis de l'empresa (lavabos, vestidors, sales comunes...) i una primera planta destinada a oficines. Des d'aquesta última, es gestionarà el funcionament de l'empresa a Catalunya, invertint tant en departaments de Innovació i I+D, com en altres departaments més comuns com l'atenció al client o el servei postvenda entre altres.

TOYOTA és un dels majors fabricants del món de vehicles. Avui en dia, la marca comercialitza quinze models diferents de cotxes a Espanya, així com més de seixanta versions entre les games de turisme, mono volums, esportius, comercials i tot-terrenys, contant amb motors dièsel, gasolina i híbrids d'última tecnologia (Hybrid Synergy Drive). Amb tot això, TOYOTA suposa el 4,5 % de la quota de mercat.

1.3. Característiques de la parcel·la

1.3.1. Ubicació

La parcel·la escollida es troba al municipi de la Garriga, comarca del Vallès Oriental, situada en el polígon industrial "Can Terrés". Aquest és un polígon de nova creació que disposa de zones industrials tant per a petites com a grans empreses. Les parcel·les estan col·locades en fila i aïllades una de les altres,

fet que permet una millor i més personal realització del procés industrial. En aquest polígon, s'admet qualsevol tipus de procés industrial.

Es tracta d'un polígon amb un terreny totalment pla i amb molt bona comunicació, tant amb transport públic com privat (figura 1.3.1.).

- 600 m de l'Autovia C-17 (Barcelona-Puigcerdà)
- Línia C-3 de rodalies Renfe
- Autobús



Figura 1.3.1. Vista aèria de la parcel·la.

1.3.2. Normativa d'edificació.

- Superfície: 3310 m²..
- 70% edificable = 2317 m².
- 1,4m²t/m²s = 3243,8 m² superfície edificable.
- Es podran admetre separacions al límit de la parcel·la amb una mínim de 4 m.
- Es permetrà planta baixa més dos pisos. En cas que el ús sigui exclusivament terciari, es permetrà planta baixa i quatre pisos.

- Alçada màxima de la façana: 13m. en el cas d'un ús exclusivament terciari serà de 18m. L'alçada es mesurarà des de el pla de referència fins el punt on comenci la coberta.
- La façana mínima haurà de ser de 25 m de longitud.
- El tipus de coberta serà plana o inclinada, en aquest últim cas, amb una pendent màxima del 20 %.
- L'ús de la nau podrà ser: terciari, industrial 1º i 2ª categoria, magatzem logístic, hotel·ler, restauració, recreatiu (tipus "A" i "B"), aparcament, educatiu, religiós, sanitari-assistencial, esportiu, cultural i estació de servei.

1.4. Materials utilitzats

Acer:

Utilitzat en tota l'estructura principal, tant en les bigues com en els pilars, i els elements secundaris, arriostrament de la nau i corretges. S'ha modelitzat mitjançant Acer S 275 JR.

L'Acer és un material metàl·lic format bàsicament per un aliatge de ferro amb una mica de carboni i s'ha convertit en l'aliatge més utilitzat en el món de la construcció.

Presenta les següents propietats:

- | | |
|----------------------------|---|
| • Tensió de límit elàstic: | $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$ |
| • Tensió de ruptura: | $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$ |
| • Mòdul d'elasticitat: | $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ N/mm}^2$ |
| • Mòdul de rigidesa: | $G = 8,1 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$ |
| • Coeficient de Possion: | $\nu = 0,3$ |
| • Densitat: | $\rho = 7,85 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ |

La terminologia "JR" es refereix a que l'assaig de resiliència (tenacitat a l'impacte) anomenat Assaig Charpy, es realitza a temperatura ambient (20°C). Es tracta de l'acer "normal", és a dir, que no s'ha de veure exposat a molt baixes temperatures.

Alumini:

És l'element mecànic més abundant a l'escorça (8,13 %). L'alumini és un material molt utilitzat en el món de la construcció, degut a la seva baixa densitat (un terç de la densitat de l'acer), i a que és molt dúctil i mal·leable, cosa que el fa molt fàcil de mecanitzar i té una gran resistència a la corrosió.

Presenta les següents propietats:

- Tensió de límit elàstic: $F_y = 170 \text{ N/mm}^2$
- Tensió de ruptura: $F_u = 220 \text{ N/mm}^2$
- Mòdul d'elasticitat: $E = 7 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$
- Mòdul de rigidesa: $G = 2.6 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$
- Coeficient de Possion: $\nu = 0,33$
- Densitat: $\rho = 2.7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Els perfils de la subestructura de suport dels plafós fotovoltaics són d'alumini T5 (estat T5: tractament tèrmic).

Formigó:

Resultat d'una barreja d'àrid, matèries primes minerals (grava i sorra), ciment, aigua i additius.

- Densitat: $\rho = 2350 \text{ kg/m}^3$

El formigó a utilitzar per la fonamentació de la nau ha de complir amb les especificacions que imposa la EHE-08, però no ha de presentar característiques especials ja que el terreny al que estarà exposat no és un medi agressiu.

Morter:

Totes les unions de base de pilar són amb placa base, disposant una capa de morter entre aquesta i el formigó de la sabata. Les característiques del morter són les següents:

- Resistència característica: $f_{cg} = 70 \text{ N/mm}^2$;
- Morter autonivellant i sense retracció BETEC-140-E;

Llana de roca:

Aquest material pertany a les llanes minerals i està fabricat a partir de roca volcànica, s'utilitza principalment com aïllament tèrmic i protecció passiva contra el foc, degut a la seva estructura fibrosa multidireccional que permet emmagatzemar aire relativament immòbil al seu interior.

1.5. Accions

Són els esforços que s'hauran de tenir en compte per realitzar un correcte dimensionat de l'estructura i es diferencien en:

1.5.1. Accions permanents**1.5.1.1. Pes propi**

El pes propi és el producte del volum d'acer per la seva densitat volumètrica de tots els elements de l'estructura: pilars dels pòrtics, llindes dels pòrtics, pilars de l'altell, bigues de l'altell, elements de façana (corretges i pilars), elements d'arriostament (creus de Sant Andreu i perfils tubulars) i tancaments tant de façana com coberta tal com es mostra a la figura 1.5.1.

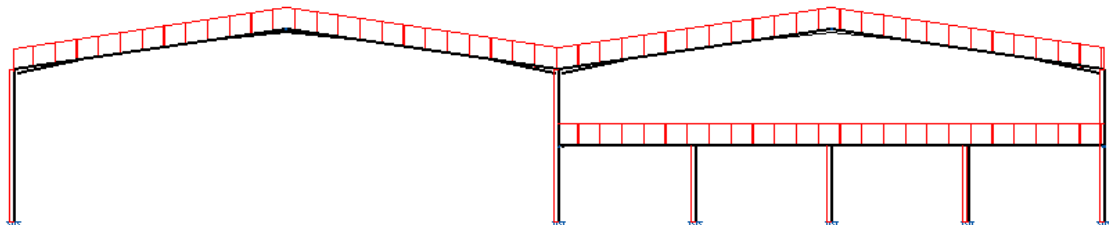


Figura 1.5.1. Esquema de les accions dels pesos propis de l'estructura.

1.5.1.2. Càrregues permanents.

S'ha considerat el pes de la instal·lació solar fotovoltaica, les corretges, el pes del forjat col·laborant i els plafós de tancament de coberta. La instal·lació solar fotovoltaica només afecta a una de les vessants de cada pòrtic tal i com es veu a la figura 1.5.2. Aquest pes ve donat pel pes dels plafós solars, el cablejat i la subestructura necessària per la seva fixació, la instal·lació descansa sobre les llindes per no transmetre esforços a les corretges.

- Instal·lació fotovoltaica: el pes dels plafós solars és el més significatiu, perquè els inversors no van sobre la coberta, encara que s'ha de tenir en compte també el pes del cablejat, els perfils d'alumini que aguanten els plafós així com també els diversos elements de fixació que els subjecten. Els plafós suposen una càrrega de 0.125 kN/m^2 , i tenint en compte la resta d'elements, s'ha considerat una càrrega total de 0.175 kN/m^2 .

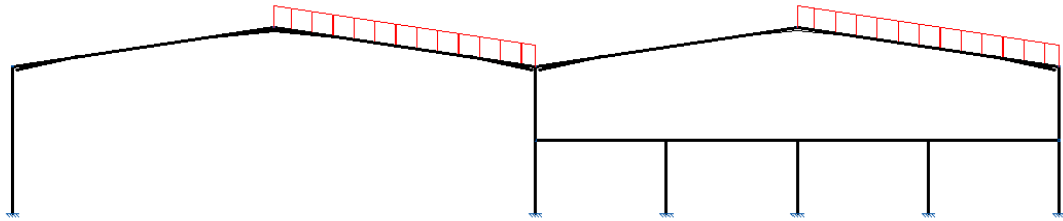


Figura 1.5.2. Esquema de l'acció del pes de l' instal·lació solar fotovoltaica.

- Forjat col·laborant: és el tipus de terra escollit per l'altell destinat a oficines. Aquest és un tipus de terra ideal per aquest tipus d'aplicació.

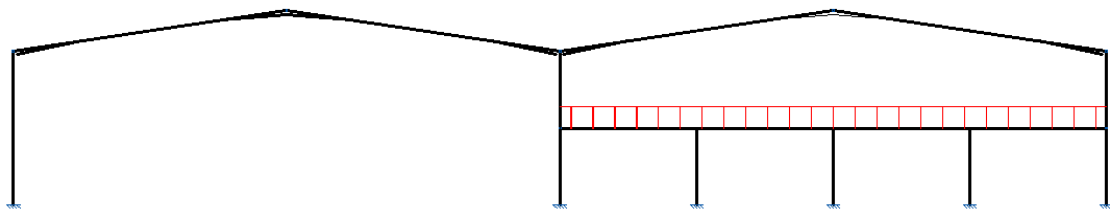


Figura 1.5.3. Esquema de l'acció del pes del forjat col·laborant.

1.5.2. Accions variables

1.5.2.1. Sobrecàrregues d'ús

El valor de la sobrecàrrega d'ús ve donat al Documento Básico - Seguridad Estructural - Acciones en la Edificación (DB-SE-AE) del Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) en funció de la categoria d'ús i/o subcategoria d'ús tal com es pot veure a la figura 1.5.4.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾ ⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

⁽¹⁾ Deben descomponerse en dos cargas concentradas de 10 kN separadas entre sí 1,8 m. Alternativamente dichas cargas se podrán sustituir por una sobrecarga uniformemente distribuida en la totalidad de la zona de 3,0 kN/m² para el cálculo de elementos secundarios, como nervios o viguetas, doblemente apoyados, de 2,0 kN/m² para el de losas, forjados reticulados o nervios de forjados continuos, y de 1,0 kN/m² para el de elementos primarios como vigas, ábacos de soportes, soportes o zapatas.

⁽²⁾ En cubiertas transitables de uso público, el valor es el correspondiente al uso de la zona desde la cual se accede.

⁽³⁾ Para cubiertas con un inclinación entre 20° y 40°, el valor de q_k se determina por interpolación lineal entre los valores correspondientes a las subcategorías G1 y G2.

⁽⁴⁾ El valor indicado se refiere a la proyección horizontal de la superficie de la cubierta.

⁽⁵⁾ Se entiende por cubierta ligera aquella cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no excede de 1 kN/m².

⁽⁶⁾ Se puede adoptar un área tributaria inferior a la total de la cubierta, no menor que 10 m² y situada en la parte más desfavorable de la misma, siempre que la solución adoptada figure en el plan de mantenimiento del edificio.

⁽⁷⁾ Esta sobrecarga de uso no se considera concomitante con el resto de acciones variables.

Figura 1.5.4. Taula dels valors característics de les sobrecàrregues d'ús (font: DB SE-AE valores de sobrecàrrega de uso).

En el cas d'aquest projecte, correspon la categoria "G", cobertes accessibles únicament per la seva conservació, i específicament la "G1", inclinació inferior a 20° i coberta lleugera sobre corretges, això pel que fa la sobrecàrrega d'ús de la coberta on s'aplicarà una sobrecàrrega d'ús de 0,4 kN/m². Com es veurà posteriorment, aquesta càrrega no és vàlida ja que és inferior a la sobrecàrrega de neu.

També es té en compte que hi ha un pis a la segona nau que es destinarà a oficines, per tant està dins de la categoria B, zones administratives, on s'ha aplicat una sobrecàrrega d'ús de 2 kN/m². Per tant, la distribució de la sobrecàrrega d'ús queda definida tal com indica la figura 1.5.5.

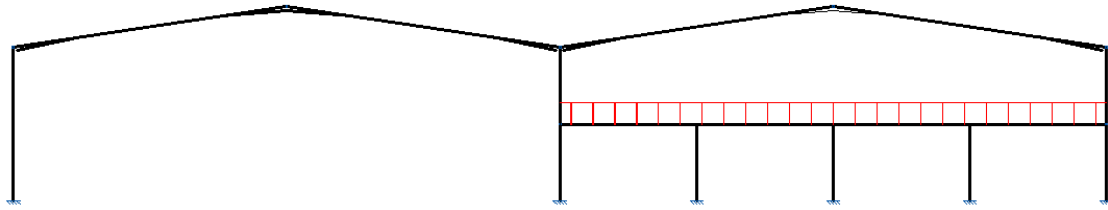


Figura 1.5.5. Esquema de les accions de les sobrecàrregues d'us.

2.6.2.2. Neu

L'acció de la neu ve donada per l'altitud i la zona geogràfica on es troba la nau, en aquest cas, es troba a 252 m. i a la zona geogràfica 2. En petita mesura també la pot afectar l'exposició de la coberta del vent.

La càrrega de neu es projecta horitzontalment a la coberta a diferència d'altres tipus de càrregues i ve donada per les figures 1.5.6. i 1.5.7.

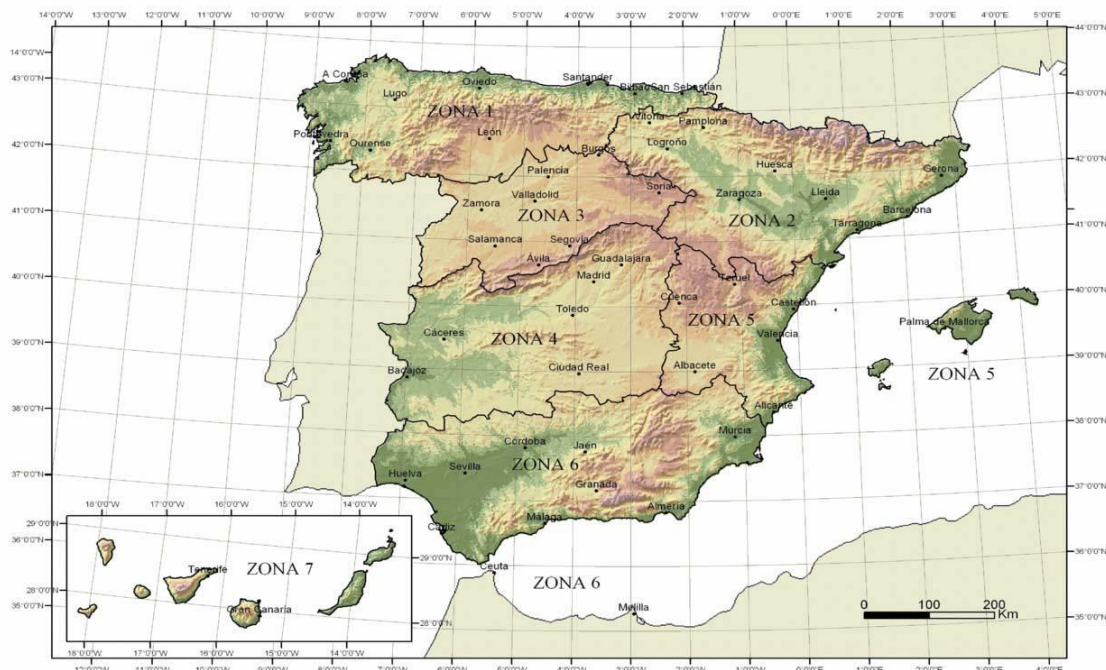


Figura 1.5.6. Mapa de les zones geogràfiques a l'estat Espanyol en funció de les zones climàtiques d'hivern (font: DB SE-AE anejo E Datos climáticos).

Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

Figura 1.5.7. Taula de la sobrecàrrega de neu en un terreny horitzontal (font: DB SE-AE anejo E Datos climáticos).

Amb una altitud topogràfica de 252 m i situació geogràfica zona 2, s'obté una sobrecàrrega de neu de 0.6 kN/m^2 , com es pot veure a la figura 1.5.8.

Tal com s'esmenta anteriorment, aquesta sobrecàrrega substitueix a la sobrecàrrega d'ús al ser superior i no ser càrregues concomitants.

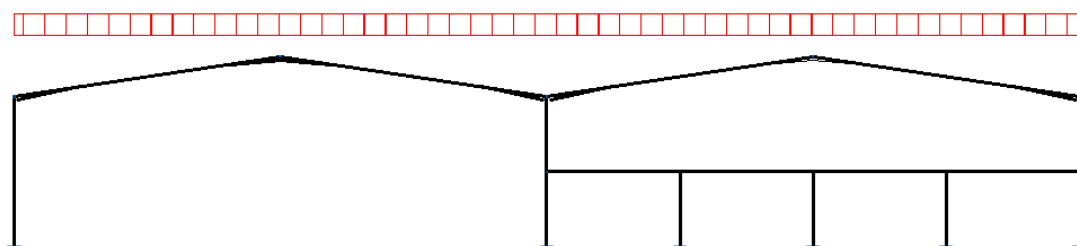


Figura 1.5.8. Esquema de les accions degudes a la sobrecàrrega de neu.

1.5.2.3. Acció tèrmica

Tal com dictamina el document bàsic SE-AE, en edificis amb elements estructural d'acer o formigó es pot no considerar les accions tèrmiques, quan es disposi de juntes de dilatació de forma que no existeixin elements continus de més de 40 m de longitud.

Per prevenir els esforços que puguin provocar les contraccions o dilatacions degudes a les accions tèrmiques, es col·locarà una junta de dilatació al sisè pilar de la nau principal, complint d'aquesta manera la limitació del coti tècnic.

1.5.2.4. Acció del vent

L'acció del vent és la més complexa pel que a estudi es refereix, l'he estudiat en cada element per separat utilitzant la següent expressió:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad (\text{Eq 1.5.1. font: DB SE-AE acciones del viento}).$$

On:

q_e : esforç del vent

q_b : pressió dinàmica del vent, es pot suposar 0,5 a tot el territori espanyol. Però per se més exacte s'extreu de l'expressió:

$$q_b = 0.5 \cdot \delta \cdot v_b^2 \quad (\text{Eq 1.5.2. font: DB SE-AE Anejo D})$$

On:

δ : densitat de l'aire, 1.25 kg/m³

v_b : velocitat mitjana de l'aire

La velocitat mitjana s'extreu del següent mapa (figura 1.5.9), i que en el cas d'aquest projecte, es tracta de la zona C:

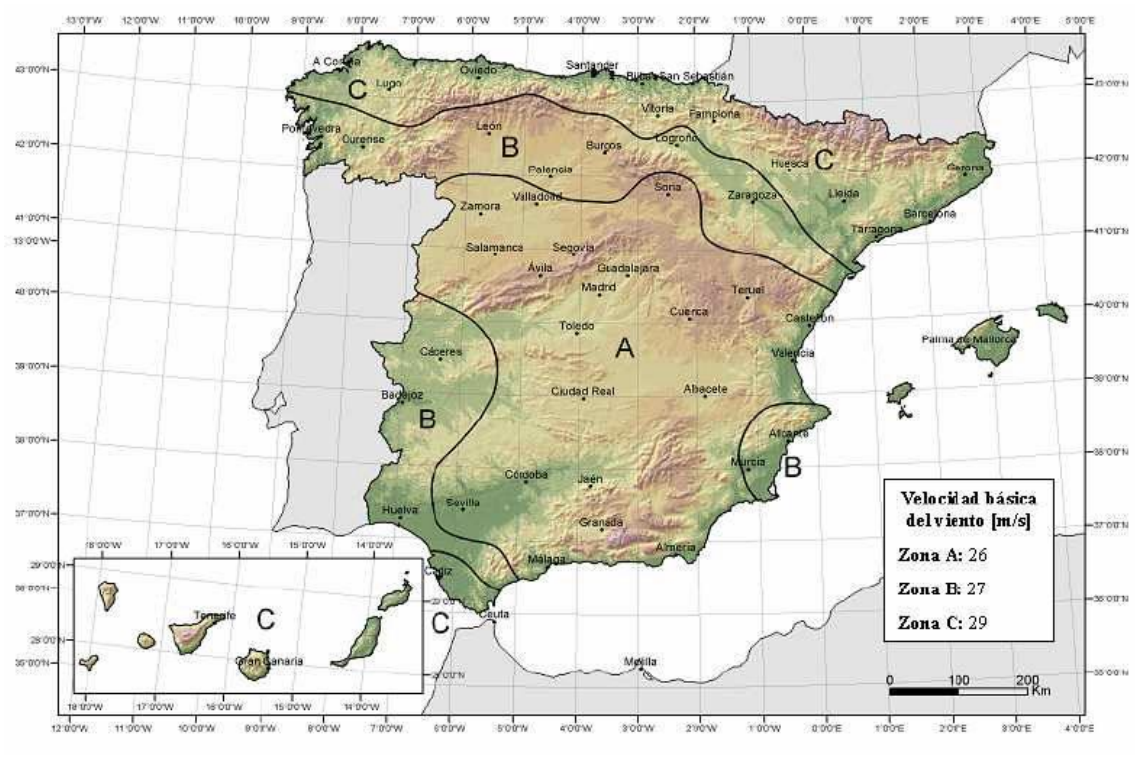


Figura 1.5.9. Mapa del valor bàsic de la velocitat del vent segons zona geogràfica (font: DB SE-AE Anejo D).

Ce: coeficient d'exposició, ve donat per l'alçada de la façana segons la següent taula, i en aquest cas s'ha extret interpolant ja que es disposa d'una façana de 7 m.

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e								
Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Figura 1.5.10. Valors dels coeficients d'exposició c_e en funció de l'alçada (font: DB SE-AE Anejo D).

Cp: coeficient eòlic, depèn de la forma i orientació de la superfície respecte el vent, de la forma de l'edifici i de la seva àrea d'influència.

Aquests valors s'extreuen de les següents taules per a cobertes a dues aigües (figura 1.5.11 i 1.5.12). El signe indica si es tracta de pressió o succió. En els casos on apareixen dos valors s'haurà d'estudiar tant per succió com per pressió.

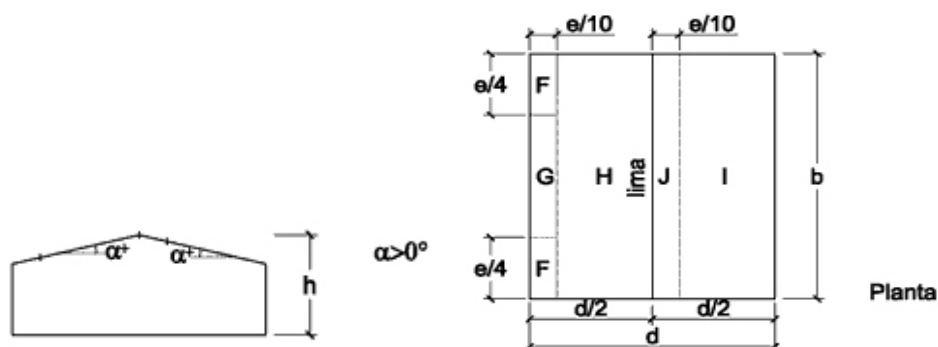


Figura 1.5.11. Zona d'acció del vent segons geometria de la nau (font: DB SE-AE Anejo D).

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
-45°	≥ 10	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1
	≤ 1	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5
-30°	≥ 10	-1,1	-0,3	-0,8	-0,6	-0,8
	≤ 1	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4
-15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
	≤ 1	-2,8	-2	-1,2	-0,5	-1,2
-5°	≥ 10	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,6	-0,6
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	0,6	0,2
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
15°	≥ 10	-0,9	-0,3	-0,3	-0,4	-1
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
30°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
45°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
60°	≥ 10	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
75°	≥ 10	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3

Figura 1.5.12. Taula dels valors del coeficient eòlic segons figura 1.5.10. (font: DB SE-AE Anejo D).

Aquestes taules són vàlides pel cas en que només hi ha un pòrtic (els darrers pòrtics de la nau) on l'efecte del vent queda definit de la següent manera segons figura 1.5.13:

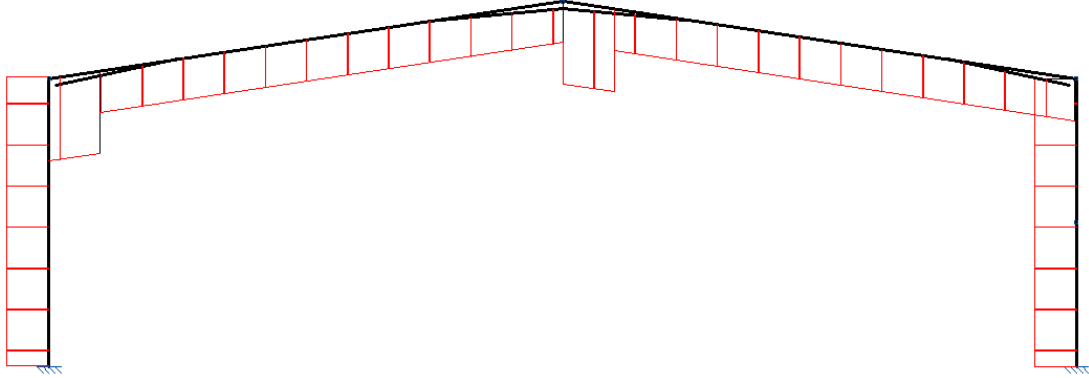


Figura 1.5.13. Esquema de l'acció del vent actuant com una força de succió a la coberta.

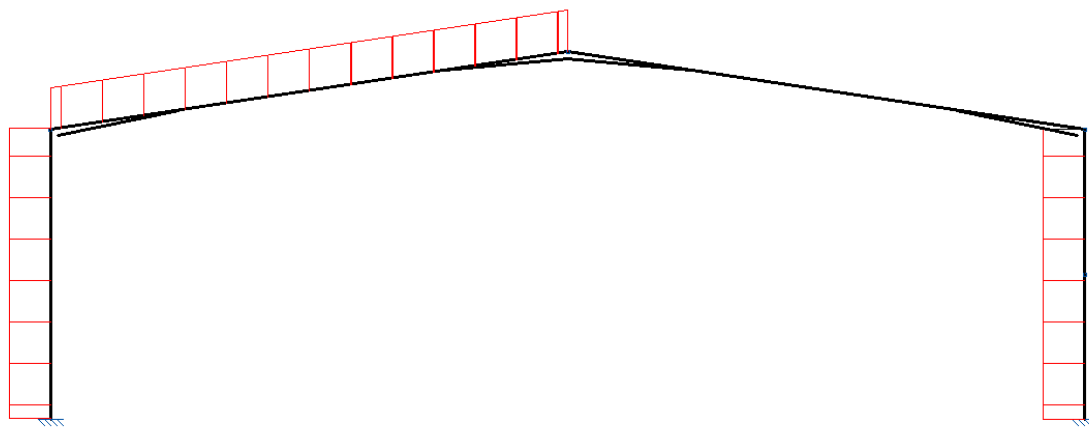


Figura 1.5.14 Esquema de l'acció del vent actuant com una força de pressió a la coberta.

En canvi, on la nau està composta de dos pòrtics es donen lloc uns altres valors de coeficients eòlics, c_p . Aquests valors venen donats per la figura 1.5.15., que modifiquen els valors a partir de la segona vessant del primer pòrtic.

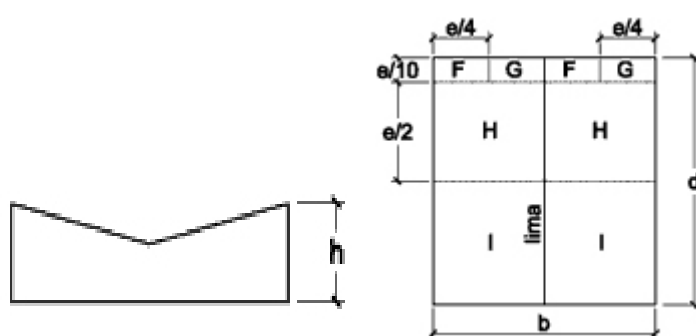
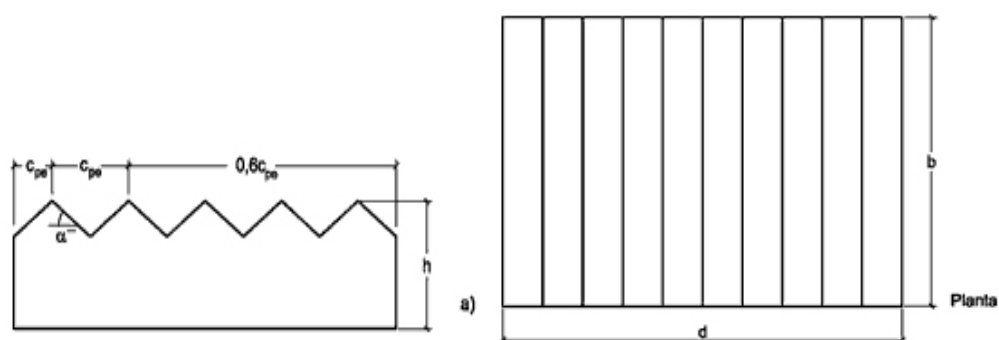


Figura 1.5.15. Zona d'acció del vent segons geometria de la nau (font: DB SE-AE Anejo D).

L'estat de càrregues degut el vent en els pòrtics dobles, queda definit segons la figura 1.15.16 (vent actuant en coberta com a força de succió) i figura 1.15.17 (vent actuant en coberta com una força de pressió).

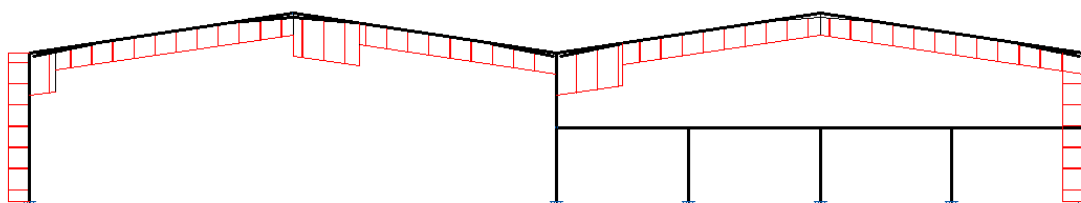


Figura 1.5.16. Esquema de l'acció del vent actuant com una força de succió a la coberta.

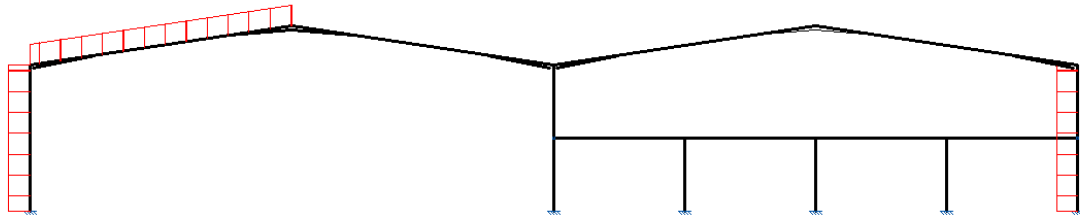


Figura 1.5.17. Esquema de l'acció del vent actuant com una força de pressió a la coberta.

1.5.3. Accions accidentals

1.5.3.1. Sisme

Les accions sísmiques estan regulades per la Norma de la Construcció Sismoresistente: parte general i de edificación (NCSE).

Segons l'apartat 1.2.3 de la norma, en un edifici amb importància normal i una acceleració bàsica igual o menor de 0,04 g., no és obligatòria l'aplicació d'aquesta norma.

Segons la NCSE la nau industrial objecte d'aquest projecte es pot classificar com a construcció d'importància normal ja que l'acceleració sísmica bàsica del terme municipal de La Garriga és de $a_b=0,04g$. Per tant, en aquest projecte, al no ser d'obligat compliment, no es tenen en compte les accions per efecte de sisme.

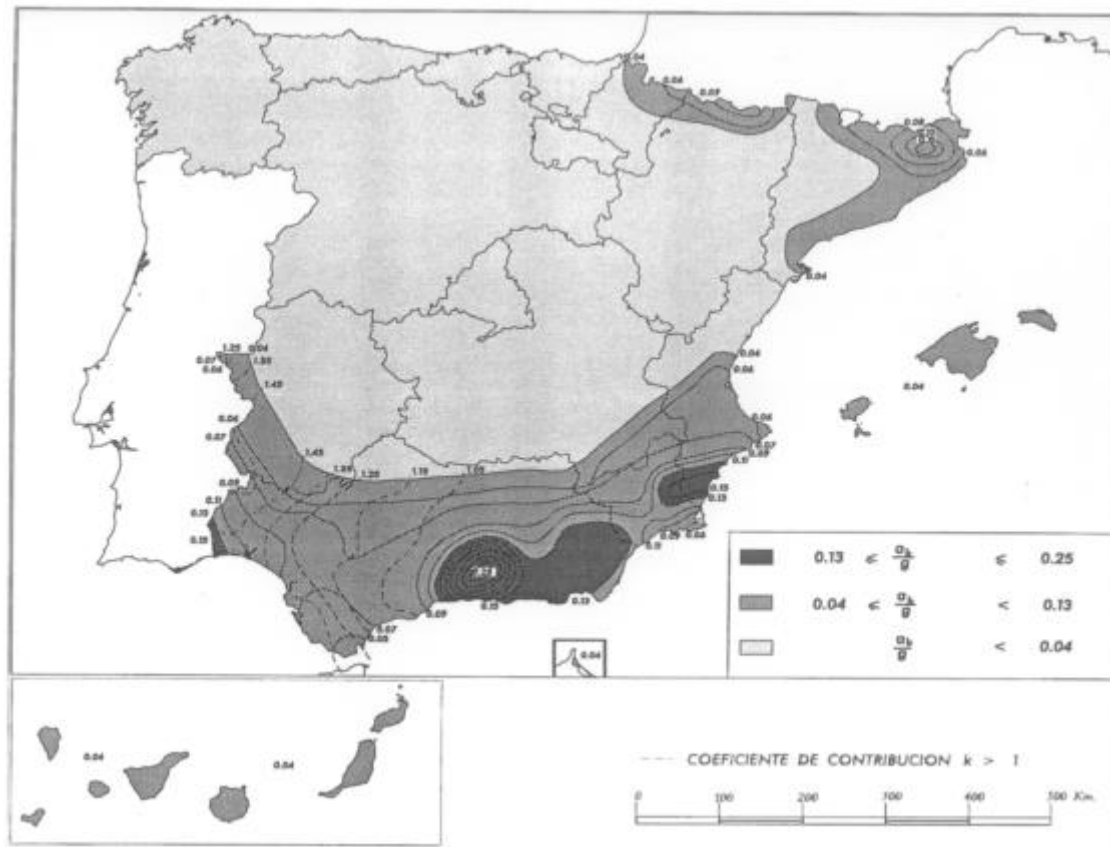


Figura 1.5.18. Mapa de les acceleracions sísmiques bàsiques de l'estat Espanyol (Font: NCSE 94).

1.5.3.2. Incendi

Caldrà seguir l'establert en el RSCIEI (Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales) i l' Ordenança municipal sobre les condicions de protecció contra incendis aplicables als establiments industrials .

Segons aquesta normativa l'edifici queda classificat com a tipus C, ja que es tracta d'un establiment industrial que ocupa totalment un o diversos edificis situats a distància superior als tres metres de l'edifici més proper. Aquesta distància ha d'estar lliure de qualsevol element susceptible de propagar un incendi.

Suposant un risc d'incendi alt, la resistència al foc que cal justificar per a l'estructura portant és una R30. Això vol dir que s'haurà de justificar la capacitat de l'estructura de resistir un incendi durant 30 minuts sense que això afecti la seva integritat.

Per tal de garantir una resistència al foc R30 a l'estructura, s'han de recobrir tots els perfils amb una capa de pintura intumescent

En aquest cas, s'ha escollit una pintura Promat WIP amb els següents espessors mínims segons la massivitat de cada perfil. Característiques tècniques de la pintura Promat WIP:

- Rendiment: 1kg/m² per cada 500 micres d'espessor.
- Temps de secat: 6 hores (20° i 50% humitat).
- Sòlids en pes: 70%.
- Pes específic: 1,36gr/cc.
- PH: 8.

1.5.3.3. Impacte de vehicles

Per tal d'evitar danys a l'estructura pel possible impacte de vehicles, s'ha dissenyat un mur perimetral de 1.5 m. d'alçada, construït amb blocs de formigó que arrenca des de terra i continua al llarg de tota la nau en la seva direcció longitudinal.

1.6. Estructura

1.6.1. Tipologia estructural

La nau consta d'una nau principal de 54 metres de longitud, on hi ha adossada una segona nau de 30 m de longitud que, a més, té un altell per oficines. Les dues naus abasten una llum de 25 m.

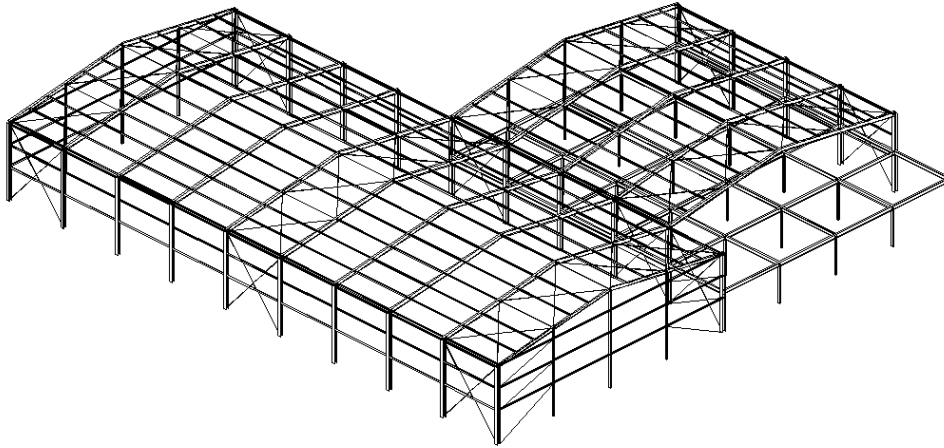


Figura 1.6.1. Dibuix de la nau amb perspectiva.

L'estructura de la nau consta de deu pòrtics transnacionals a dues aigües amb una inclinació del 15 %, 25 m de llum, 7 m d'alçada i situats a 6 m de distància entre ells. Pels pilars s'han utilitzat perfils d'acer laminat HEB i per les llindes perfils laminats en IPE.

S'han de diferenciar tres tipus de pòrtics:

- Pòrtic tipus 1: pòrtics 7, 8, 9 i 10, pòrtics simples



Figura 1.6.2. Dibuix del pòrtic tipus 1.

- Pòrtics tipus 2: pòrtics 2, 3, 4, 5 i 6 pòrtics dobles.

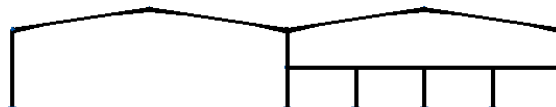


Figura 1.6.3. Dibuix del pòrtic tipus 2.

- Pòrtics tipus 3: pòrtic de façana frontal.

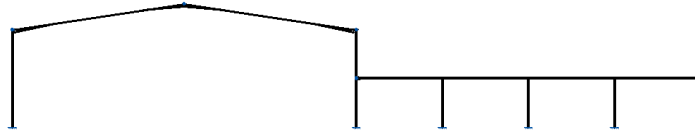


Figura 1.6.4. Dibuix del pòrtic tipus 3.

En els pòrtics dobles (de la nau secundària), hi ha un altell a la meitat de l'alçada dels pilars dels pòrtics. Aquest altell consta de tres pilars per pòrtic, on s'uneixen bigues longitudinals i transversals per definir el terra.

La façana posterior s'ha decidit estudiar com un pòrtic central per preveure possibles ampliacions.

Els altres elements de l'estructura han estat pilars de façana amb perfils HEB i corretges de façana i coberta. Per les corretges de façana s'han utilitzat perfils IPE i UPN. En canvi, per les corretges de coberta s'han utilitzat perfils conformats en Z. Per últim, s'han definit els elements d'arriostrament de la nau, Creus de Sant Andreu, composades per rodons amb tensors i perfils tubulars per lligar els caps dels pilars dels pòrtics i transmetre els esforços del vent a les creus.

Finalment, s'han estudiat les unions, cargolades en la seva majoria, i la fonamentació realitzada amb sabates aïllades de formigó armat i bigues de lligat entre sabates.

1.6.2. Càlcul estructural

El càlcul estructural s'ha enfocat estudiant la nau en el pla, fet que ha permès una millor visualització del que s'ha realitzat en cada moment i ha permès una millor consciència del procediment a seguir.

S'han emprat un software informàtic i càlculs realitzats a mà, que han permès assolir coneixements d'aquests sistemes de càlcul.

S'ha realitzat el càlcul estructural diferenciant dues fases. La primera fase realitzada amb l'ajut del software CYPE 2011, on s'han introduït els tres tipus de pòrtics esmentats anteriorment. La segona fase, composta de càlculs realitzats a mà, tracta dels elements de façana (pilars i corretges) i els elements encarregats de l'arriostrament de la nau.

1.6.2.1. Càlculs amb el CYPE 2011

L'estudi en el pla transversal s'ha realitzat mitjançant un software de càlcul, CYPE 2011.

Primer de tot, s'ha introduït la geometria dels diferents pòrtics al programa de càlcul. Tot seguit, s'ha realitzat un estudi de totes les accions que interactuen en els pòrtics i s'han introduït manualment en el programa. Aquestes accions són l'efecte del vent, la neu, el pes propi de la coberta i el pes de l'instal·lació solar fotovoltaica.

Per últim, s'han definit els criteris de vinculament dels diferents elements dels pòrtics (llindes i pilars) calculats tal com indica el mètode de Woods.

Un cop dibuixada tota la geometria, introduïdes les càrregues i els paràmetres adequats, s'ha procedit a definir quin tipus de perfil es considera el més adient per cada grup de barres:

- HEB pels pilars.
- IPE amb cartel·les per les llindes.
- HEB pels pilars de l'altell.
- IPE per les bigues de l'altell.

El CYPE 2011 ha calculat i dimensionat els perfils, així com el tipus de fonamentació i unions que s'ha decidit en cada cas. Com està reflectit en la memòria de càlcul, s'han realitzat comprovacions manuals dels resultats obtinguts en el software per poder-los comparar.

1.6.2.2. Càlculs realitzats a mà

En aquest apart, s'han estudiat les diferents façanes, així com els elements d'arriostrament de la nau.

Les façanes han quedat definides de la següent manera:

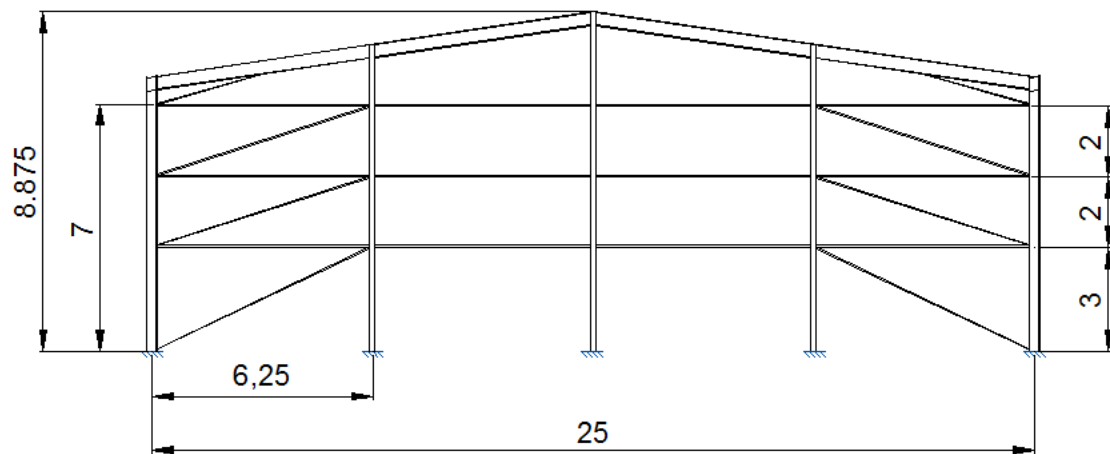
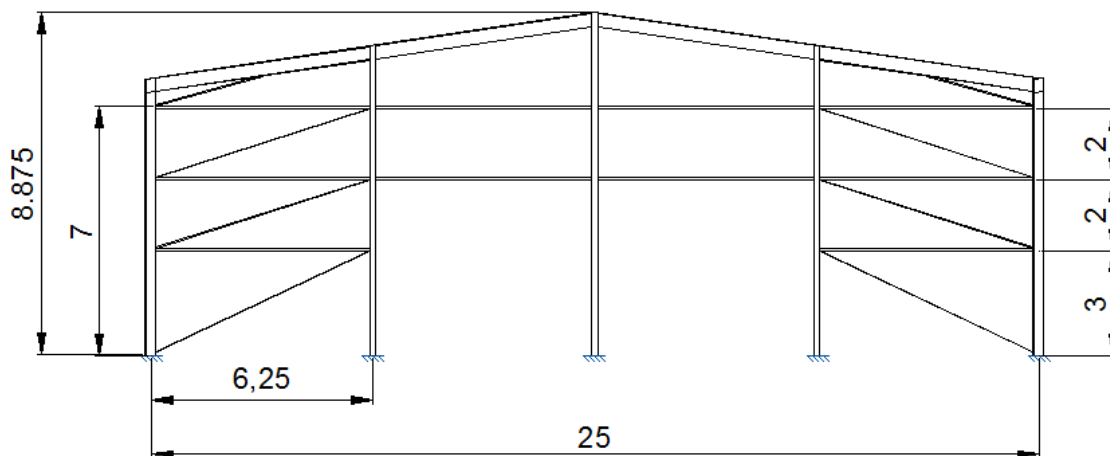


Figura 1.6.5. Dibuix del de la façana principal.



1.6.6. Dibuix de la façana posterior.

Per dimensionar els element de façana, s'ha començat definint els esforços que suporten les corretges degut a l'acció del vent. Aquestes corretges transmeten esforços als pilars en forma de càrregues puntuals.

A efectes de calcular el pilar, s'ha treballat amb el pilar del mig ja que és el pilar de major llum (8.875m.) i per tant el que més esforç suporta. Aquest pilar es comporta bàsicament com una biga, ja que rep quasi tot l'esforç del vent i només suporta un lleuger esforç axial, degut al propi pes i al pes del tancament de façana frontal (mus cortina).

Les façanes laterals i les corretges han estat definides de la següent manera:

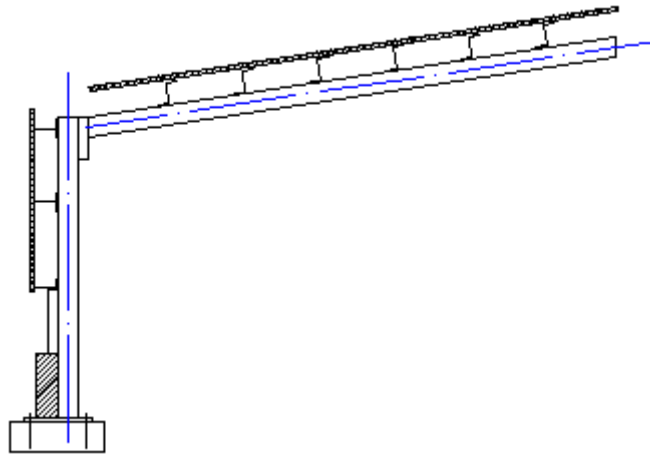


Figura 1.6.7. Dibuix de la distribució de coberta i façanes laterals.

Primer de tot, s'ha dissenyat un mur perimetral de blocs de formigó d'1.5 m d'alçada. Sobre el mur, descansa un finestral al llarg de tota la nau per permetre una il·luminació natural, el finestral té una alçada d'1.5 m. Per últim, es disposa de tres fileres de corretges. Per la primera s'ha escollit un perfil en U i facilitar el muntatge del finestral.

Les corretges de coberta, a efectes estructurals, s'ha decidit col·locar-les a dos metres de separació entre elles per fer-les coincidir amb els extrems de les creus de Sant Andreu.

Aquestes corretges han de suportar les accions degudes al vent, la neu i el pes propi de la coberta, però no de la instal·lació solar fotovoltaica ja que descansa sobre les llindes i per tant no afecta a les corretges.

Degut a que la coberta està inclinada, s'han emprat perfils conformats en Z. Aquests perfils, deguts a la seva asimetria, contraresten el defecte a torsió provocat per la inclinació de la coberta.

L'última etapa de l'estudi ha estat el càlcul del pla longitudinal de la nau. Aquest pla permet l'arriostament de la nau dotant-la de monotelisme.

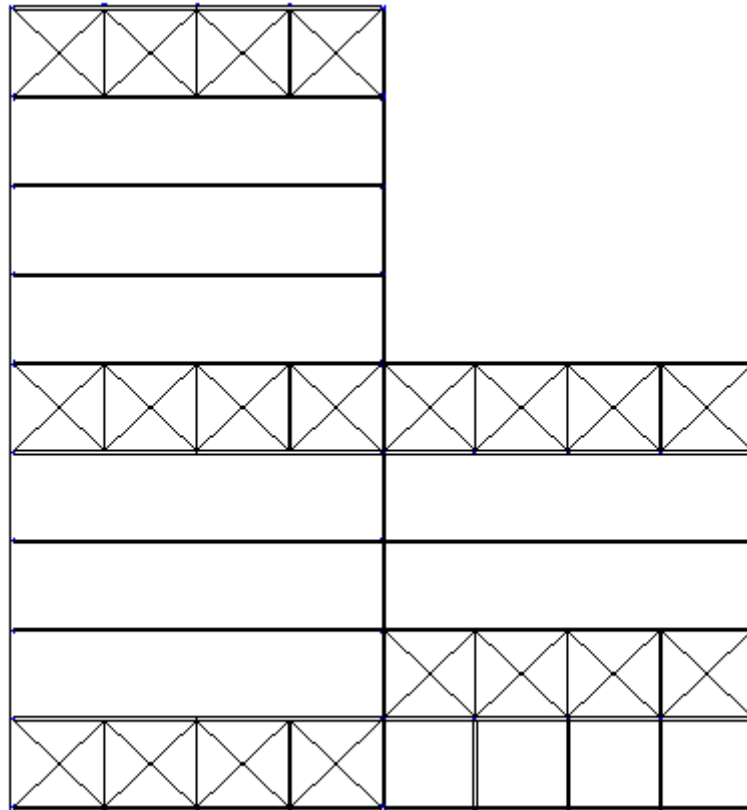


Figura 1.6.8. vista en planta de la situació de les creus de Sant Andreu.

Per arriostar la nau, s'han utilitzat creus de Sant Andreu formades per rodons amb tensors (figura 1.6.8). Aquestes creus s'han situat en els mòduls formats pels pòrtics de façana i el seus adjunts, així com en el mòdul format pels pòrtics 5 i 6 de la nau principal (coincidint amb l'últim pòrtic de la nau secundària). Aquestes creus treballen a tracció i donen estabilitat entre pòrtics, absorbint l'efecte del vent en façana.

Les creus s'han dimensionat segons la seva àrea eficaç seguint la següent taula (figura 1.6.9.).

TORNILLO TIPO	VASTAGO			Ø del agujero d _s (mm)	Area neta del núcleo (F _n) cm ²	Area resistente (F _r) cm ²
	d (mm)	d _i (mm)	b (mm)			
T-10	10	8,16	17,5	11	0,523	0,58
T-12	12	9,853	19,5	13	0,762	0,743
T-16	16	13,546	23	17	1,44	1,570
T-20	20	16,933	25	21	2,25	2,75
(T-22)	22	18,933	28	23	2,82	3,03
T-24	24	20,319	29,5	25	3,24	3,53
(T-27)	27	23,319	32,5	28	4,27	4,56
T-30	30	25,706	35	31	5,19	5,61
(T-33)	33	28,706	38	34	6,47	6,94
T-36	36	31,093	40	37	7,59	8,17

Figura 1.6.9. Taula de perfils normalitzats per rosques.

Per transmetre els esforços entre els extrems de les creus, s'ha disposat d'uns perfils tubulars quadrats.

També s'han unit els extrems superiors dels pilars dels pòrtics mitjançant el mateix tipus de perfils tubulars quadrats.

Els criteris a seguir per definir els tipus de perfils han estat els següents:

- HEB pels pilars de façana.
- IPE per les corretges de façana.
- Perfil en U per la primera filera de corretges laterals.
- Perfil IPE pel les dues fileres superiors de façana lateral.
- Perfil conformat en fred en Z per les corretges de coberta.
- Rodons per les creus de Sant Andreu.
- Tubs quadrats pels element d'unió dels caps dels pilars.

Un cop calculat els tipus de perfil en cada cas, s'han realitzat les verificacions pertinents seguint la nova normativa del Codi Tècnic en l'Edificació: fletxa

màxima admissible, estudi a vinclament i estudi de la tensió màxima admissible.

En la redacció del projecte s'ha seguit la normativa d'aplicació en aquests moments a l'estat espanyol pel que fa a construccions industrials:

- EHE 08, Instrucción de Hormigón Estructural.
- Código Técnico de la Edificación:
 - DB-SE / Seguridad Estructural.
 - DB-SI / Seguridad en caso de incendio.
 - DB-SE-AE / Acciones en la edificación.
- EUROCODI 3.
- RSCIEI Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos Industriales.
- NCSE Norma de construcción sismoresistente.

1.6.2.3. Forjat col·laborant

El forjat de l'altell destinat a oficines s'ha resolt amb un forjat col·laborant. El forjat col·laborant es un sistema que consisteix en una xapa metàl·lica grecada, que treballa conjuntament amb una llosa de formigó. La instal·lació d'aquests tipus de forjats en estructures metàl·liques és senzilla, ràpida i neta.

Un forjat mixt de xapa col·laborant està constituït per una xapa grecada d'acer, sobre la qual es construeix una llosa de formigó que conté una malla d'armadura, destinada a mitigar la fissuració del formigó. En aquest tipus de forjat, la xapa grecada serveix de plataforma de treball durant el muntatge, d'encofrat per al formigó fresc i d'armadura inferior per al forjat després de l'enduriment del formigó.

Les xapes grecades han de tenir una resistència i una rigidesa suficients per a ocupar la funció d'encofrat, en la mesura del possible sense apuntalaments provisionals. A més, per a assegurar una bona connexió i un treball conjunt el

formigó i l'acer es disposen connectors que connecten el forjat amb les bigues de suport.

La llum màxima entre l'entramat de bigues d'acer que suporta el forjat col·laborant és de 6.25 m. Les càrregues que actuen sobre el forjat són 2 kN/m². Per aquestes condicions, s'escull un forjat col·laborant de la casa Arcelor-Mittal model Cofrastra 70 (figura 6.1.10).

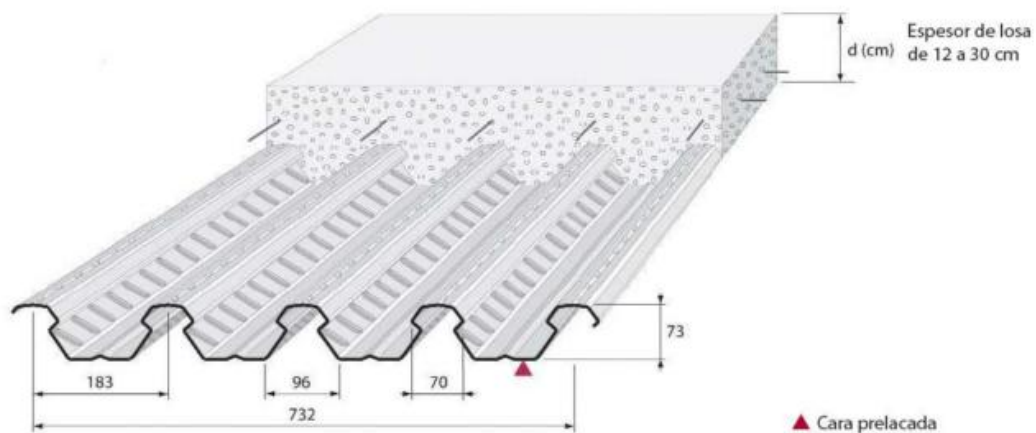


Figura 1.6.10. Característiques geomètriques de la xapa col·laborant.

1.6.2.4. Estats límits

1.6.2.4.1. Estats límits últims

Els estats límits últims són aquells que de no ser complerts, poden suposar un perill per a les persones, ja sigui perquè l'edifici queda fora de servei o a causa del col·lapse total o parcial d'aquest. Es poden considerar els següents tipus d'estats límits últims:

- Pèrdua d'equilibri de l'edifici, o d'una part estructuralment independent, considerat un cos rígid.
- Fallada a causa d'una deformació excessiva, transformació de l'estructura o de part d'ella en un mecanisme, ruptura dels seus elements estructurals (inclosos recolzaments i fonaments) o de les seves

unions, o inestabilitat d'elements estructurals incloent els originats per efectes que depenen del temps, (fatiga i corrosió).

1.6.2.4.2. Estats límits de servei

Els estats límits de servei són aquells que de no ser complerts, no suposen un perill per a les persones però afecten al confort i el benestar del usuaris o terceres persones, al correcte funcionament de l'edifici o l'aparença de la construcció.

Aquests estats límits de servei poden ser reversibles o irreversibles. Com a estats límits de servei han de considerar-se els relatius a:

- Deformacions (fletxes, assentaments) que afecten a l'aparença de l'obra, al confort dels usuaris, o al funcionament d'equips i instal·lacions.
- Vibracions que afecten al confort dels usuaris, o al funcionament d'equips i instal·lacions.
- Danys o deterioraments que puguin afectar desfavorablement a l'aparença, la durabilitat o la funcionalitat de l'obra.

Per a l'estructura d'aquest projecte s'ha limitat la deformació a una fletxa màxima admissible de $1/300$.

1.7. Unions

La facilitat i simplicitat en la construcció de les unions, tall de les barres, soldadura, etc., influeix en alt grau en el cost de l'estructura, ja que presenten una gran part de la feina efectuada en el taller. D'altra banda, el número d'unions a calcular i dissenyar també té gran influència en el temps necessari per realitzar el projecte. Per aquesta raó, s'ha intentat realitzar l'estructura de manera que les unions resultin el més senzilles possible, tant pel que fa a la fabricació com el càlcul d'aquestes.

L'estructura s'ha dissenyat buscant el major grau de prefabricació en taller possible, d'aquesta manera es minimitzen els costos de desplaçament de medis i personal qualificat a l'obra, el control de qualitat en taller també és més fàcil.

Les soldadures que es realitzen al taller són bàsicament per dissenyar peces de dimensions adequades per al seu transport i col·locació en obra, i per unes determinades unions. Les unions realitzades en obra s'han fet mitjançant unions cargolades.

Les unions s'han comprovat a resistència, es poden consultar els càlculs a la memòria de càlcul .

S'han calculat sis tipus d'unions, les unions de l'estructura principal que ha facilitat el CYPE 2011. A la memòria de càlcul s'han comprovat i verificat que aquests càlculs fossin correctes.

Totes les unions de l'estructura principal s'han calculat amb unions cargolades amb cargols no pretesats. Es poden consultar els resultats a la memòria de plànols.

Com ja s'ha comentat, només s'han calculat les unions principals. Per la resta d'unions, a continuació es mostra una croquis de com han estat dissenyades:

- Unió dels perfils tubulars, encarregats d'unir els extrems superiors dels pilars i transmetre els esforços a les creus de Sant Andreu.

Aquesta unió serà una unió soldada. Per realitzar la soldadura s'haurà de tallar una part del perfil tubular per poder-lo encaixar amb l'ala del pilar HEB. A l'hora de dimensionar el perfil tubular, s'ha escollit un perfil gruixut per facilitar la posterior soldadura. (Figura 1.7.1).

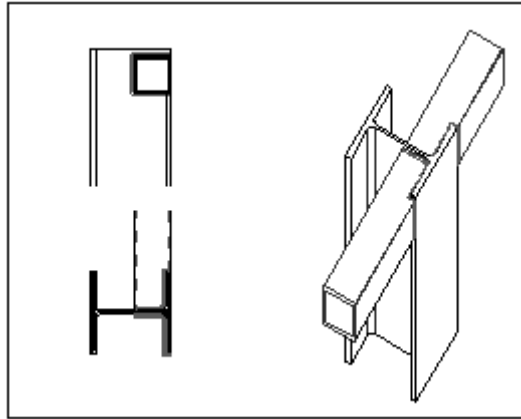


Figura 1.7.1. Unió perfils tubulars.

- Unió dels rodons amb tensors que formen les creus de Sant Andreu.

S'han soldat unes xapes metàl·liques a la base i l'extrem superior dels pilars, on posteriorment es soldaran els rodons amb tensors. (Figura 1.7.2.).

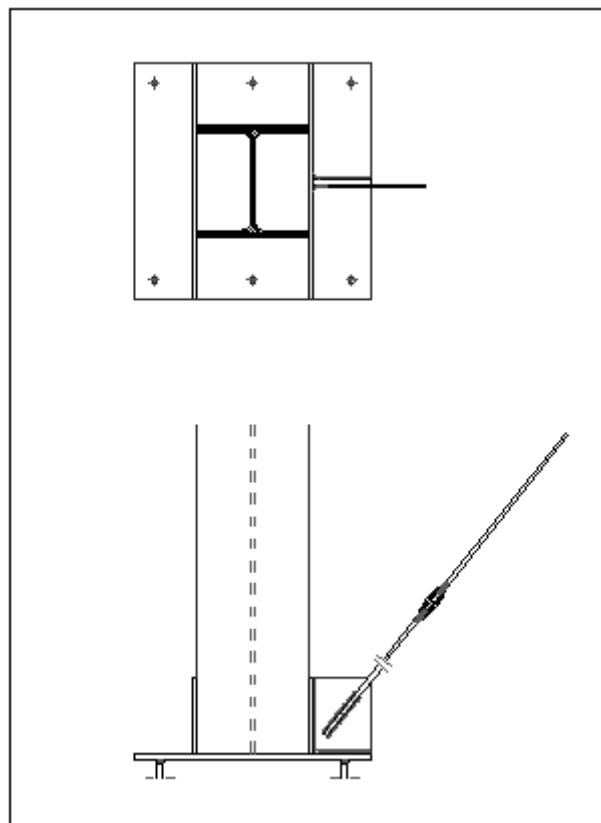


Figura 1.7.2. Unió inferior d'un rodó amb tensor.

- Unió de les corretges en els pilars principals dels pòrtics.

Per aconseguir una cara plana en les façanes per facilitats constructives, sobretot pel muntatge del mur cortina, els perfils IPE s'han tallat per encaixar amb els pilars HEB. Les corretges es recolzen cargolades sobre unes "L" soldades als pilars. (Figura 1.7.3.)

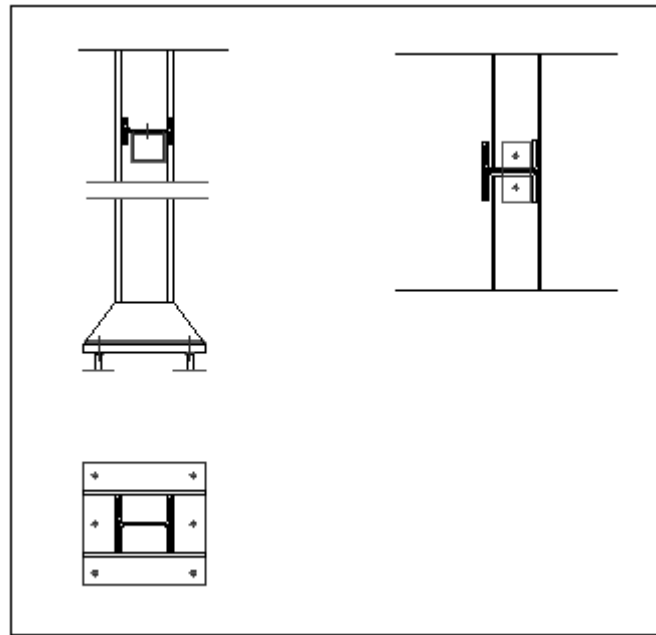


Figura 1.7.3. Unió d'una corretja IPE en un pilar HEB.

- Unió dels pilars de façanes frontals amb les llindes.

Aquesta unió es realitzarà mitjançant un trau polís, així aconseguiré que pugui haver-hi un lliure desplaçament de les llindes en l'eix vertical. D'aquesta manera les llindes no transmeten esforços al pilar. (Figura 1.7.4.)

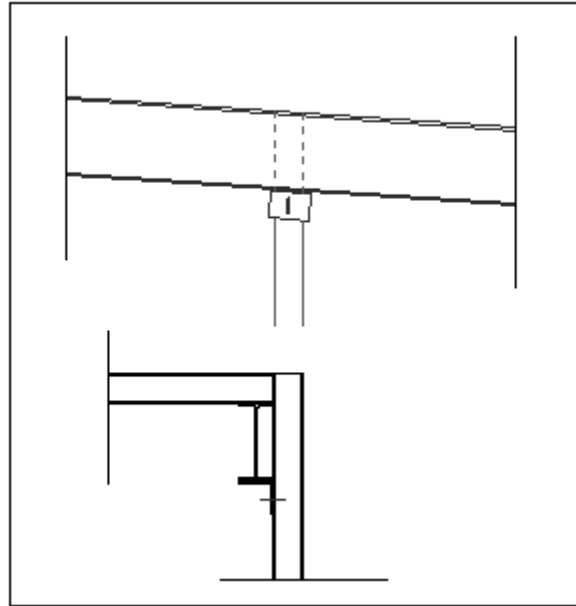


Figura 1.7.4. Unió pilar de façana amb llinda.

1.8. Fonamentació

Un cop calculada l'estructura i els esforços que aquesta transmetrà al terreny, s'ha calculat la fonamentació on es recolzarà. El tipus de fonamentació escollida varia en funció de les característiques del terreny, les accions transmeses per l'estructura i la geografia de l'estructura.

Degut a que el substrat resistent de l'estructura no és a una profunditat molt elevada, i que la tensió admissible d'aquest substrat és prou bona, $2,50\text{kg/cm}^2$, el més econòmic ha estat realitzar la fonamentació de la nau industrial amb sabates aïllades de formigó armat. També s'han disposat bigues de lligat entre les sabates per absorbir els esforços de flexió.

La normativa a seguir per al càlcul de les fonamentacions ha estat el DB-SE CIMENTACIONES del CTE, que regula els elements de fonamentació i contenció de tot tipus d'edificis, i la instrucció de formigó estructural EHE08.

Igual que per a la resta d'elements de l'estructura, en la fonamentació ha estat necessari comprovar tant els estats límits últims com els estats límits de servei. Els estats límits últims que s'han considerat són: la pèrdua de la capacitat portant del terreny de recolzament de la fonamentació per enfonsament; el lliscament o bolcada; la pèrdua de l'estabilitat global del terreny en l'entorn pròxima la fonamentació i la pèrdua de capacitat resistent per fallada estructural o fallades del fonament per causes que depenen del temps. Pel que fa als estats límits de servei, s'han comprovat els moviments excessius que podrien induir esforços i deformacions a l'estructura, les vibracions que de transmetre's a l'estructura poden produir falta de confort i els danys o deteriorament que poden afectar negativament a l'aparença, durabilitat i la funcionalitat de l'obra.

El càlcul de tots els elements de fonamentació s'han realitzat amb l'ajuda del programa informàtic CYPE 2011 (figura 1.8.1). En aquest programa, l'usuari pot escollir la disposició, geometria i armat de les sabates i bigues riostra. Tot i així, s'ha procedit al càlcul a mà d'una sabata, per corroborar els resultats obtinguts, càlcul que es pot veure a la memòria de càlcul.

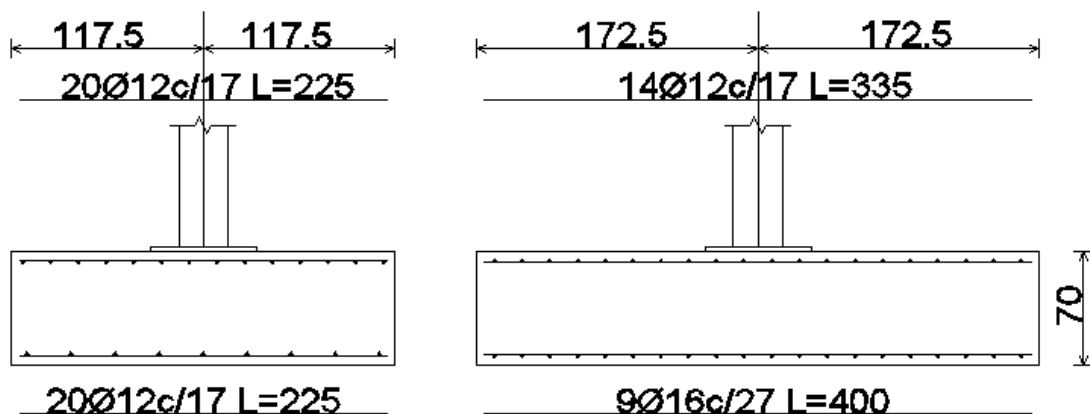


Figura 1.8.1. Dibuix de l'opció proposada pel CYPE 2011.

1.9. Paviment

1.9.1. Definicions prèvies

Paviment

Construït amb formigó lleugerament armat que reposa directament sobre l'esplanació o sobre una base degudament compactades i que, per la rigidesa a flexió de la llosa de formigó, transmet i reparteix les càrregues actuant sobre zones relativament àmplies de la base o esplanada.

Base

És la capa ferma situada directament sota el paviment. Pot no existir si l'esplanada és de qualitat suficient per suportar directament el paviment.

Esplanada

És l'assentament del ferm i està constituïda pel material que ha quedat al descobert al realitzar l'excavació, o bé pel material de farciment si el paviment s'ha de construir a una cota superior que la del terreny natural.

Junta

És denomina així a les cantonades de cadascuna de les lloses en les que es divideix el paviment.

Malla electrosoldada

Barres d'acer electrosoldades a màquina, formant una malla ortogonal. El límit elàstic de l'acer és de 5000 kp/cm².

1.9.2. Càlcul de l'espessor de formigó.

A la figura 1.9.1 s'indica una classificació de les esplanades segons el tipus de sòl, la qual proporciona suficient exactitud per als casos usals. Aquesta classificació intervé en el càlcul de l'espessor del paviment.

Graves, mescles d'arena i grava amb pocs fins, mescles d'arenes i graves amb argiles

TIPUS D'ESPLANADA	DESCRIPCIÓ DEL SÒL
A	Llims orgànics, argiles orgàniques i argiles inorgàniques d'alta plasticitat
B	Argiles inorgàniques de baixa plasticitat, argiles arenoses, arenas llimoses mescles d'arenas i argila i mescles amb poca grava
C	Graves, mescles d'arena i grava amb pocs fins, mescles d'arenas i graves amb argiles

Figura 1.9.1. Taula classificatòria dels tipus de sòl

S'ha disposat una base entre el paviment i l'esplanada ja que crea un recolzament més uniforme per aquest, encara que no en redueixi l'espessor.

La base pot ser una mescla de graves i arenas o graves amb mescla d'argiles i arena, sempre que no siguin excessivament plàstiques. L'espessor de la base ha estat de 15 cm i s'ha compactat enèrgicament.

La taula de la figura 1.9.1 proporciona l'espessor de formigó necessari, en funció de les dades següents:

- Tipus d'esplanada (A, B o C).
- Resistència específica del formigó a compressió.
- Càrrega per eix.

Per dimensionar el paviment, és aconsellable considerar una càrrega mínima per eix de quatre tones, de vuit tones si el paviment ha de suportar el tràfic de camions lleugers, i de catorze tones si ha d'estar sotmès a trànsit de camions pesats.

No està definit l'ús final de la nau, però si que hi circularan vehicles i es disposarà de maquinària. Per tant s'ha optat per dimensionar el paviment en funció d'una càrrega de vuit tones.

El terreny sobre el qual s'ha edificat la nau, està format per argiles inorgàniques, que, segons la taula 1.9.1, es tracta d'una esplanada de tipus B.

El formigó que s'ha utilitzat té una resistència característica $f_{ck} = 250 \text{ kp/cm}^2$.

Considerant una càrrega de vuit tones i una resistència característica de 250 kp/cm^2 , i segons l'àbac per l'obtenció del cantell en lloses de paviment, en resulta una alçada de 20 cm. (Figura 1.9.2)

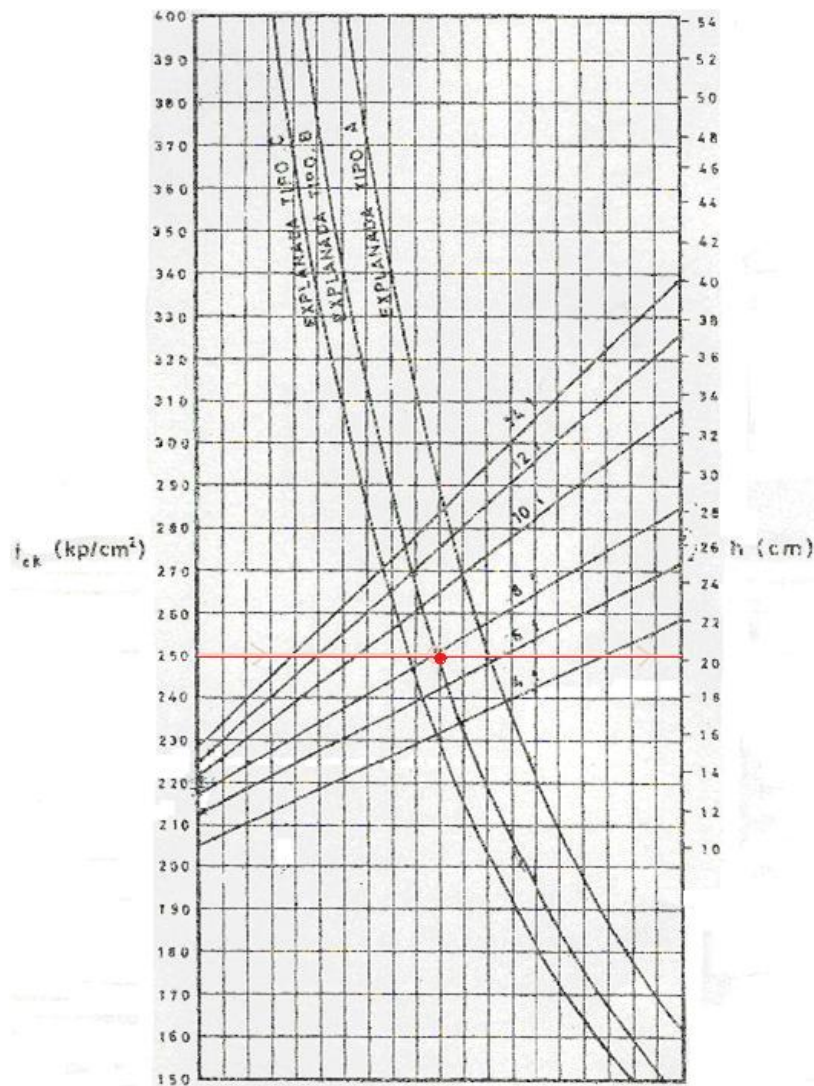


Figura 1.9.2. Àbac per l'obtenció d'alçades en lloses de paviment.

1.9.3. Junes

Les juntes en els paviments responen als següents motius:

- Com a solució per les interrupcions necessàries de formigonat.
- Com a precaució contra les tensions excessives de retracció que podrien esquerdar el formigó (a no ser que es disposin quanties molt elevades d'acer).
- Per permetre la lliure dilatació del paviment, en el cas de grans superfícies.

Avui dia, la tendència actual és de reduir al màxim el número de juntes de dilatació, ja que al no permetre la transmissió de càrregues entre lloses contigües, constitueixen zones molt dèbils del paviment.

Les dimensions de la llosa, és a dir, la distància entre juntes, acostumen a oscil·lar entre 4 i 10 m. Com més gran sigui la distància entre les juntes, més acer es necessitarà.

En aquest cas, s'ha decidit fer el paviment a base de lloses de 6.25 m d'amplada, de manera que la llum del pòrtic queda dividida en quatre parts i 6 m de llargada, coincidint amb la distància entre pòrtics. D'aquesta manera, les juntes coincideixen amb la situació dels pilars.

La distribució final de les juntes de retracció es mostra a la següent figura 1.9.3:

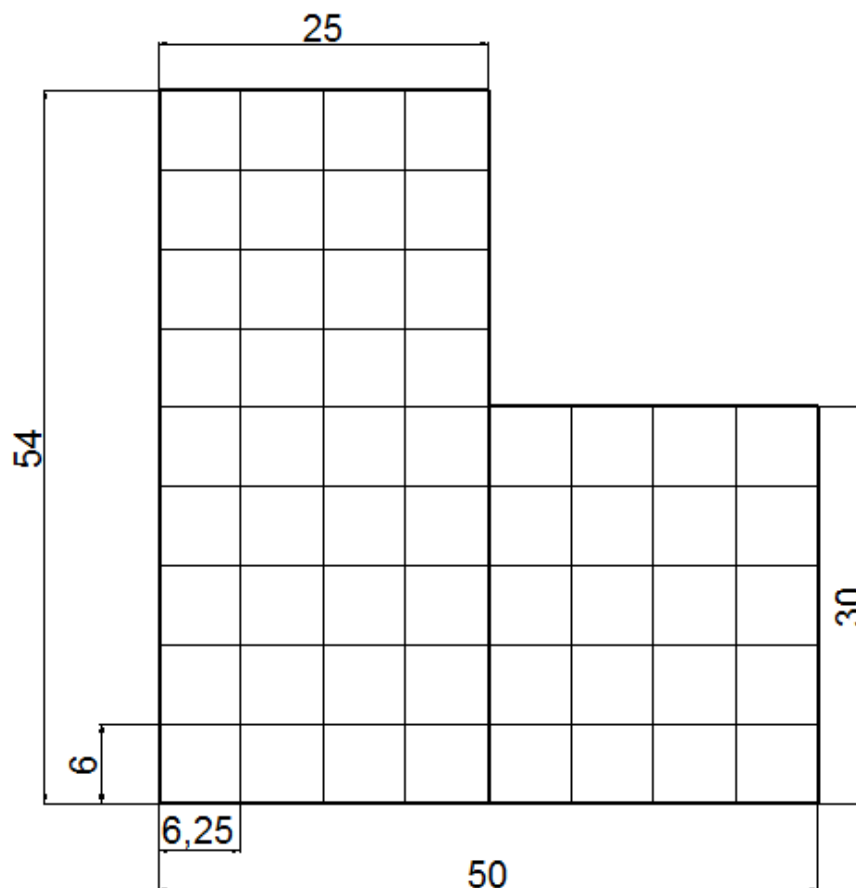


Figura 1.9.3. Distribució de les juntes de retracció.

1.9.4. Dimensionament de l'acer (retracció i temperatura)

Una manera pràctica de determinar la quantitat d'acer necessària ha estat fent ús del següent àbac (figura 1.9.4), que ha donat un resultat de $0,75 \text{ cm}^2/\text{ml}$, amb una llosa de 6m. De longitud i una alçada de 20cm. Però com que és recomanable utilitzar una armadura mínima de $1.31 \text{ cm}^2/\text{ml}$, és aquesta la que s'ha utilitzat en aquest projecte.

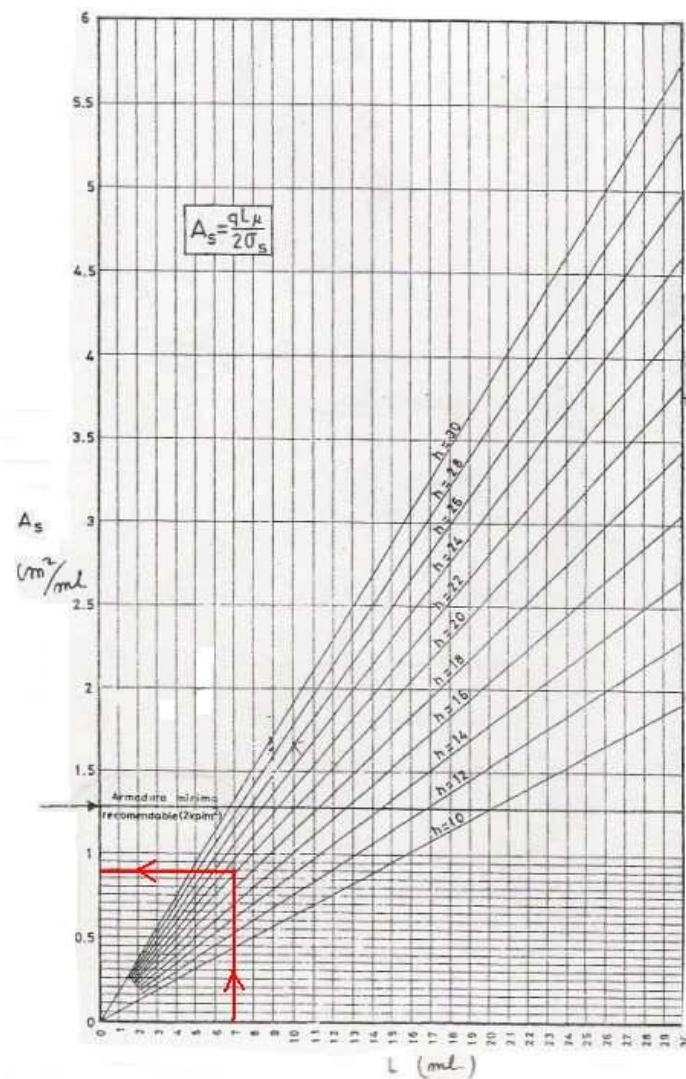


Figura 1.9.4. Àbac pel dimensionament de l'acer.

A continuació es mostren unes taules de malles estàndard per escollir la més adequada (figura 1.9.5):

según UNE 36092:1996											
CÓDIGO	TIPO DE MALLA	ELEMENTOS PRINCIPALES		ELEMENTOS EN BORDE		ELEMENTOS TRANSVERSALES		ÁREA REFORZANTE		MASES	
		Número		Número		Número		cm ² /m	cm ² /m	Kg./panel	Kg./m ²
C-98	20 x 20 5 - 5	11	5	---	---	30	5	0,98	0,98	20,34	1,541
C-131	15 x 15 5 - 5	15	5	---	---	40	5	1,31	1,31	27,43	2,078
C-141	20 x 20 A 6 - 6	7	6	4	5	30	6	1,41	1,41	27,67	2,096
C-188	15 x 15 A 6 - 6	11	6	4	5	40	6	1,88	1,88	37,88	2,870
C-251	20 x 20 A 8 - 8	7	8	4	6	30	8	2,51	2,51	47,99	3,635
C-335	15 x 15 A 8 - 8	11	8	4	6	40	8	3,35	3,35	66,16	5,012
C-524	15 x 15 A 10 - 10	9	10	6	7	40	10	5,24	5,24	98,49	7,461
C-754	15 x 15 A 12 - 12	9	12	6	9	40	12	7,54	7,54	144,06	10,914
R-98	20 x 30 5 - 5	11	5	---	---	20	5	0,98	0,65	16,95	1,284
R-131	15 x 30 5 - 5	15	5	---	---	20	5	1,31	0,65	20,65	1,564
R-188	15 x 30 A 6 - 6	11	6	4	5	20	6	1,88	0,94	28,12	2,130
R-335	15 x 30 A 8 - 8	11	8	4	6	20	8	3,35	1,88	48,78	3,695
R-524	15 x 30 A 10 - 10	9	10	6	7	20	10	5,24	2,62	71,34	5,404
R-754	15 x 30 A 12 - 12	9	12	6	9	20	12	7,54	3,77	104,99	7,954

CÓDIGO	TIPO DE MALLA	KG/M ²	PANELES		KG	PAQUETE		KG
			PAQUETE	M ²		PAQUETE	M ²	
C-98	20 x 20 d 5 - 5	1,541	70	924	1.424	14	12.936	19.934
C-131	15 x 15 d 5 - 5	2,078	70	924	1.920	13	12.012	24.961
C-141	20 x 20 d 6 - 6	2,096	50	660	1.383	14	9.240	19.367
C-188	15 x 15 d 6 - 6	2,87	50	660	1.894	13	8.580	24.625
C-251	20 x 20 d 8 - 8	3,635	30	396	1.439	17	6.732	24.471
C-335	15 x 15 d 8 - 8	5,012	30	396	1.985	13	5.148	25.802
C-524	15 x 15 d 10 - 10	7,461	20	264	1.970	13	3.432	25.606
C-754	15 x 15 d 12 - 12	10,914	10	132	1.441	17	2.244	24.491
R-98	20 x 30 d 5 - 5	1,284	70	924	1.186	14	12.936	16.610
R-131	15 x 30 d 5 - 5	1,564	70	924	1.445	14	12.936	20.232
R-188	15 x 30 d 6 - 6	2,13	50	660	1.406	14	9.240	19.681
R-335	15 x 30 d 8 - 8	3,695	30	396	1.463	17	6.732	24.875
R-524	15 x 30 d 10 - 10	5,404	20	264	1.427	16	4.224	22.826
R-754	15 x 30 d 12 - 12	7,954	10	132	1.050	20	2.640	20.999

Figura 1.9.5. Taula de malles estàndard.

Si es considera la primera opció, que és la que menys acer requereix, la malla estàndard serà la C-131, 15x15 5-5 (malla de 15x15cm, amb diàmetre 5 mm² en ambdues direccions).

En la direcció curta, està formada per quinze elements (de 5 mm² de diàmetre), i per tant té una amplada de:

$$\text{amplada} = 0.15 \times 15 = 2.25 \text{ m.}$$

En la direcció llarga, està formada per 40 elements (també de 5 mm² de diàmetre), i per tant té una longitud de:

$$\text{longitud} = 0.4 \times 15 = 6\text{m.}$$

Les malles s'han disposat 5 cm per sota de la cara vista del paviment.

1.10. Tancaments

A la nau s'han diferenciat dos tipus de tancament, el primer està constituït per plafons de xapa metàl·lica i és l'encarregat de tancar la nau en totes les cobertes i façanes menys en la façana principal. En les façanes laterals, també hi ha un mur perimetral de blocs de formigó i un finestral.

Els tancaments han quedat definits de la següent manera:

En la façana principal s'ha realitzat un tancament fet per una estructura de mur cortina de vidre i un tancament de xapa en la part superior per motius estètics.

1.10.1. Tancaments de coberta, façanes laterals i façana posterior

Pels tancaments s'han utilitzat uns prefabricats de l'empresa Central del Panel, fets de perfils de xapa metàl·lica i llana de roca, tant a la coberta com als laterals de la nau (figura 1.10.1).

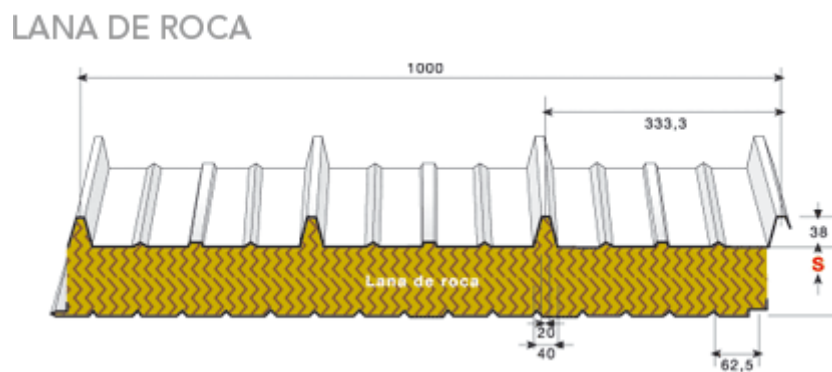


Figura 1.10.1. Dibuix del perfil metàl·lic de l'empresa Central del Panel

Es tracta d'un plafó aïllat amb llana de roca, amb una elevada resistència al foc i destinat especialment a cobertes amb una inclinació superior al 7% (en el nostre cas és del 15 %). El procés productiu, juntament amb els materials utilitzats, han donat lloc a la següent taula de cargues admissibles (1.10.2).

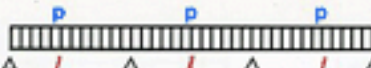

S (mm)	K		Peso panel Kg/m²											
	Kcal m²·h·°C	Watt m²·°C		P= Kg/m²					P= N/m²					
					60	80	100	120	150	60	80	100	120	150
50	0,65	0,75	16,05	L=m	3,75	2,84	2,31	1,94	1,57	3,97	3,33	2,67	2,24	1,81
80	0,42	0,49	19,05	L=m		4,50	3,65	3,08	2,48	5,05	4,38	3,91	3,54	2,88
100	0,34	0,40	21,05	L=m			4,55	3,82	3,09	5,65	4,89	4,38	3,99	3,56
120	0,29	0,34	23,05	L=m				4,58	3,71	6,17	5,34	4,80	4,38	3,92

Figura 1.10.2. Taula de les càrregues admissibles en funció de la separació entre plafons.

Pels plafons de tancament s'ha seleccionat un gruix de 100 mm, com es pot veure a l'apartat de la memòria de càlcul.

Els plafons s'han fixat a l'estructura auxiliar (corretges) mitjançant cargols autoroscants amb un recobriment de niló en el cap del cargol, del mateix color que el plafó.(figura 1.10.3).

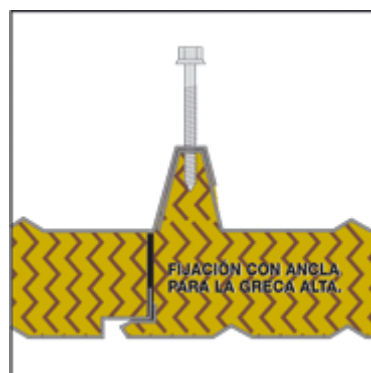


Figura 1.10.3. Dibuix de la fixació dels plafons a les corretges.

1.10.1.1. Característiques tècniques

Tractament del suport metàl·lic

Aquests plafons disposen d'una xapa externa revestida amb una imprimació de epoxy (resina, polímer termostable que s'endureix quan es mescla amb un agent) d'un gruix no inferior a 5 micres i tractada amb vernís Metcolor sistema estàndard o súper, d'un gruix de 25 micres amb una extensa gama de colors.

La xapa interna també disposa d'una imprimació de epoxy no inferior a 5 micres i tractada amb un vernís Metcolor sistema Top 50 d'un gruix de 50 micres en color blanc

Aïllament acústic

En els gruixos 50, 80 i 100 mm, s'han obtingut índex de valoració $R_w=29-30$ dB segons les normes UNI 827/7 i ISO 717/82.

Les façanes laterals i la façana posterior han quedat definides de la següent manera (figura 1.10.4, figura 1.10.5 i figura 1.10.6).

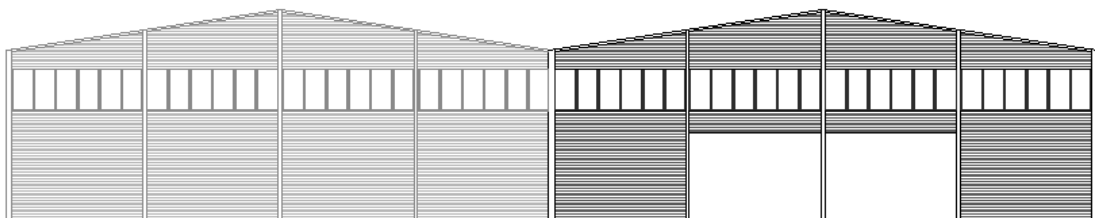


Figura 1.10.4. Tancament façana posterior.

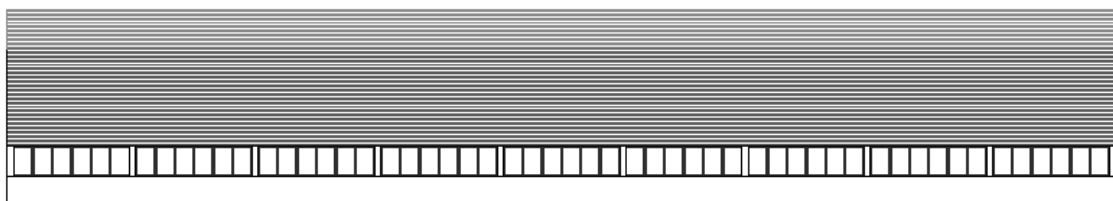


Figura 1.10.5. Tancament façana lateral nau principal.

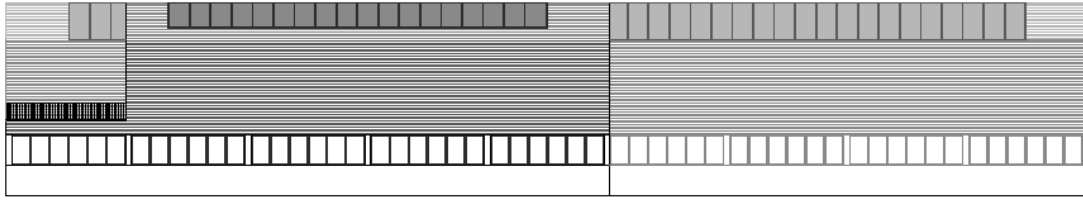


Figura 1.10.6. tancament façana lateral nau secundària.

1.10.2. Tancament de façana principal

La façana principal serà la zona d'accés al públic, pel que s'ha tingut en compte l'aspecte estètic. Per això, s'ha decidit fer el tancament mitjançant un mur cortina. El mur cortina és una façana lleugera de muntants i travessers que té un aspecte lleuger i fi. Tant horitzontal com verticalment resulten visibles només uns mil·límetres tan des de dins com de fora, i està ubicada per davant de l'estructura principal de l'edifici.

El mur cortina està constituït per una combinació d'elements d'alumini, una àmplia varietat d'envidrament transparents i zones generalment opaques, realitzades en elements de farcit que poden ser de diferents materials, com fustes, vidres, plàstics, etc.

El mur cortina transmet la seva pròpia càrrega deguda al pes, a través de connexions realitzades al terra o a les columnes de l'edifici. Un mur cortina està dissenyat per resistir l'aire i l'infiltració d'aigua, forces químiques i les seves pròpies forces de càrrega.

Per al mur cortina, s'ha escollit un sistema de l'empresa Sopena que es descriu a continuació a la figura 1.10.7.

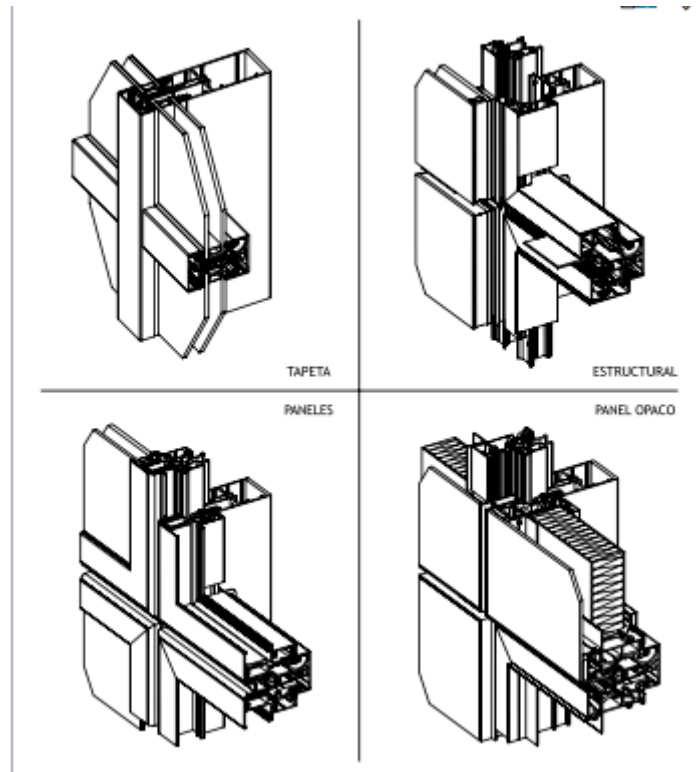


Figura 1.10.7. Dibuixos de les diferents parts que el componen.

1.10.2.1. Característiques tècniques

- Perfils extruïts en aliatges d'alumini 6060 (UNE-38-350) amb tractament T-5.
- Tolerància dimensional segons norma UNE-38-006.
- Tots els muntants són de 50 mm de secció amb una longitud de 100 mm.
- Totes les unions estan segellades amb goma EPDM i comprimides per una junta de 50 mm. per mitjà d'un perfil de pressió.
- La major part dels accessoris d'aquest mur són comercials, però n'hi ha que estan patentats.
- Totes les juntes del sistema són de EPDM.
- Els perfils de ruptura de PVC són de 20 mm.
- La capacitat d'envidrament va des de 4 mm fins a 32 mm.
- Els acabats superficials poden ser tan lacats com anoditzats o combinació dels dos, bicolors.

1.10.2.2. Descripció dels components

- Muntants: perfils tubulars de 50 mm de secció i 100 mm de secció que s'adapten a les exigències del càlcul dels moments d'inèrcia. Van ancorats al forjat. A la part exterior és on va el sistema que subjecta el vidre.
- Travessers: perfils tubulars de 50 mm de secció. A la part exterior es troba el sistema que serveix de subjecció pel vidre.
- Perfils de ruptura: perfils de PVC rígids que estan intercalats entre la retícula base i el perfil de pressió. En funció de la longitud d'aquest perfil i de les juntes de EPDM s'aconsegueix l'envidrament necessari.
- Perfil de pressió: perfil que subjecta el vidre a través de les juntes d' EPDM.
- Falques de vidre: perfils que serveixen de recolzament del vidre sobre els muntants, de tal manera que eviten que els perfils de ruptura suportin el pes.
- Tapetes: horitzontal i vertical, igual que la decorativa de ala d'avió.
- Estanquitat: assegurada per l'interior mitjançant doble junta d' EPDM. En el exterior, s'assegura per una junta de 50 mm d' ample que cobreix la totalitat del perfil de pressió. L'estanquitat entre muntant i travesser, queda assegurada per la junta perimetral en EPDM que cobreix el travesser.
- Drenatge: a través dels canals laterals dels muntants.
- Dilatació: totalment lliure en el muntant i el travesser, a través de la junta i els forats colissos que permeten el moviment.

1.10.2.3. Descripció del sistema

És una façana del tipus retícula portant, comunament denominada de tapeta, formada per muntants i travessers de 50 mm de secció. Això els fa semblar més esvelts i menys visibles en el conjunt de la façana, tant des de l'interior com l'exterior del mur.

Els muntants són perfils tubulars que s'adapten a cada un dels esforços sol·licitats en funció dels moments d'inèrcia de cada un d'ells.

Els muntants queden fixats a l'estructura de l'obra per mitja d'ancoratges, que permeten el moviment en les tres direccions ortogonals, per alinear els esmentats muntants entre si. Al mateix temps, permeten la unió entre si en sentit vertical, per mitjà de perfils d'unió (en alumini o acer galvanitzat) que s'ajusten a les càmeres dels muntants.

L'ancoratge dels muntats als travessers es realitza a través de mecanitzats practicats en el muntant, i es fixen els uns amb els altres a través de cargols d'acer inoxidable i una falca especial de poliamida. Aquesta unió queda perfectament segellada per mitja d'una junta perimetral en EPDM.

Els travessers ancorats en els muntants creen la graella de l'estructura.

L'estructura descrita anteriorment ha estat ancorada a l'obra quedant en el interior de la mateixa. Protegida dels canvis de temperatura, és la part de l'estructura del mur que menys pateix afectes de dilatació.

La part exterior ha estat muntada sobre l'anterior a partir de perfils de PVC rígid de baixa conductivitat tèrmica que aïllen les dues parts.

Sobre aquests perfils de PVC, ha estat muntat el perfil de pressió que, a través d'una junta EPDM de 50 mm d'ample, subjecta el vidre sobre el muntant.

A la part inferior dels travessers s'han col·locat les falques especials de vidre, sobre les que es recolza aquest, per evitar que el pes recaigui sobre els perfils de PVC.

Per últim, s'han col·locat les tapes sobre els perfils de pressió.

Finalment, la façana principal queda definida de la següent manera (figura 1.10.8):

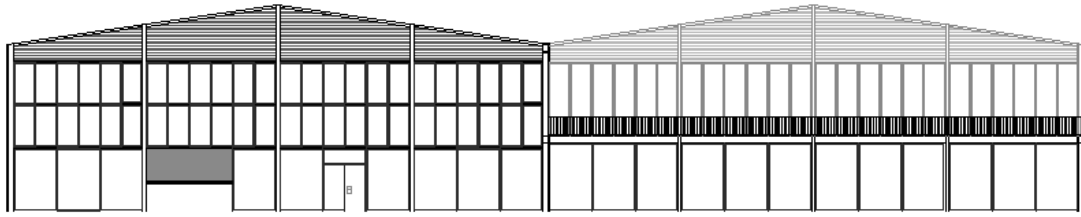


Figura 1.10.8. vista de la façana principal.

1.10.3. Mur perimetral

Com s'ha comentat en l'apartat de prevenció contra impactes, s'ha construït un mur perimetral al llarg de les façanes laterals de bolcs d formigó.

El bloc de formigó consisteix en un rectangle prefabricat, amb nombroses cel·les de parets fines que els converteix en elements fàcils de maniobrar en obra i molt aïllants.

S'elaboren a partir de morters i formigons de consistència seca comprimint-los i fent-los vibrar en motlles estàtics.

L'alçada del mur perimetral a construir ha estat de 1.5 metres. El gruix ve determinat pel gruix dels blocs de formigó, com es mostra en la figura 1.10.9.

S'ha optat per utilitzar uns bolcs de formigó de l'empresa Aridos y prefabricados Antolín. Que consisteixen en uns blocs de formigó de sèrie Normal fabricats amb formigó en massa.

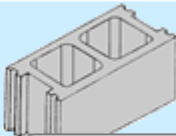
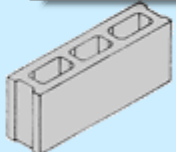
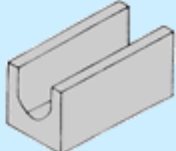
Bloques de hormigón Serie NORMAL			
Denominación	Imagen	Unidades por	Peso aprox.
		m2 / m.l.	kg / und.
Bloque NORMAL Estándar 40 x 20 x 20		12,5	13
Bloque NORMAL de 50 50 x 12 x 20		10	13
Zuncho NORMAL 40 x 20 x 20		2,5	20

Figura 1.10.9. taula dels diferents blocs de formigó de sèrie normal.

S'ha escollit el bloc normal de 50, ja que suposa menys càrrega per metre de mur, i el gruix de 12 mm és suficient per la funció que ha de complir (figura 1.10.10).

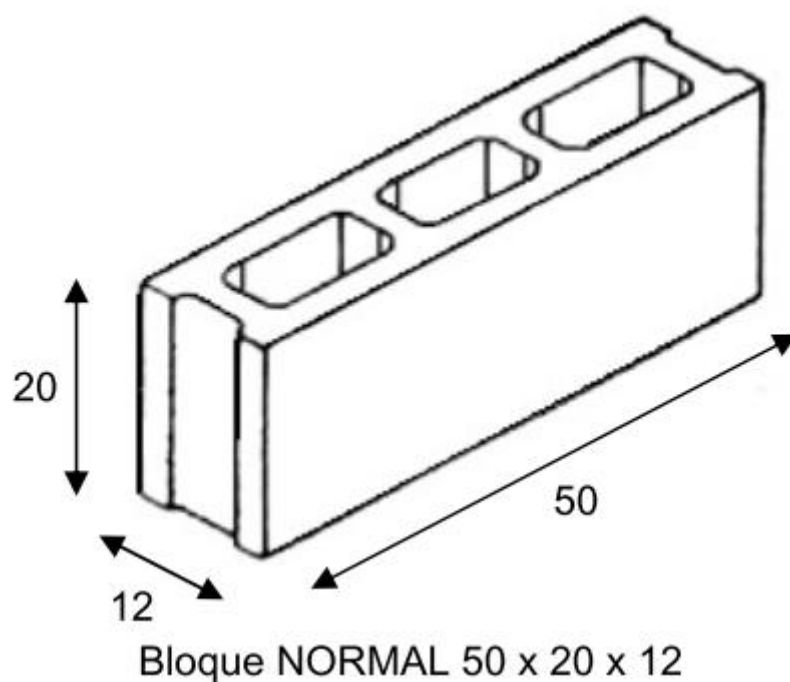


Figura 1.10.10. Dibuix del tipus de bloc de formigó utilitzat.

1.10.4. Finestral

A efectes d'estalvi energètic, pel que fa a la llum artificial, s'han col·locat finestrels a la nau per aprofitar la llum natural del sol. A més dóna una major sensació de confort ja que la llum solar sempre és més agradable i permet tenir contacte amb l'exterior.

Hi ha un finestral al llarg de la nau en la seva direcció longitudinal, que descansa sobre el mur perimetral de blocs de formigó. Aquest finestral s'ha col·locat a 1.5 metres d'alçada i arriba fins als 3 m d'alçada. La part de dalt del finestral, estarà delimitat per la primera filera de corretges, una filera en perfil UPN per aconseguir una cara plana i facilitar-ne el muntatge.

Aquest finestral és de mòduls de vidre que cobreix l'àrea de que hi ha entre pilar i pilar dels pòrtics.

També s'ha col·locat un finestral a la façana posterior de la nau a una alçada de 5 metres coincidint amb la segona filera de corretges i de 2 m d'alçada.

1.11. Acabats

Per poder dibuixar els canalons i els baixants, d'acord amb la superfície de coberta de la nau, s'ha fet un estudi senzill segons el CTE (DB HS Salubritat), per calcular el seu dimensionament.

1.11.1. Canals i baixants

Canals

El diàmetre nominal del canaló d'evacuació d'aigües pluvials, de secció semicircular per una intensitat pluviomètrica de 100 mm/h, s'obté de la figura 1.11.1 en funció del seu pendent i de la superfície a la que serveix.

Máxima superficie de cubierta en proyección horizontal (m²)				Diámetro nominal del canalón (mm)
Pendiente del canalón				
0.5 %	1 %	2 %	4 %	
35	45	65	95	100
60	80	115	165	125
90	125	175	255	150
185	260	370	520	200
335	475	670	930	250

Figura 1.11.1. Taula de diàmetres nominals dels canalons.

La superfície de coberta en projecció horitzontal a considerar ha estat:

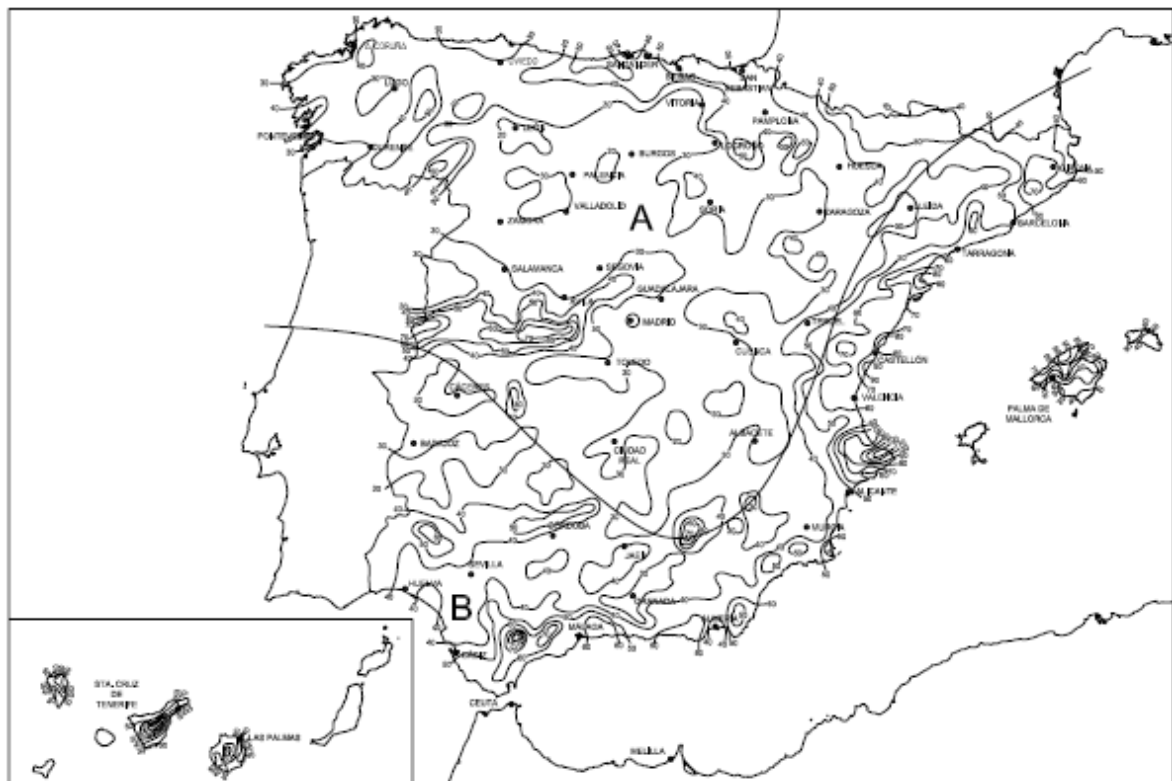
$$S = 12.5 \times 6 = 75 \text{ m}^2$$

Per tant, considerant un pendent de la canal del 1 %, es necessita un diàmetre nominal de 125 mm.

Per un règim amb intensitat pluviomètrica diferent de 100 mm/h, s'ha d'aplicar un factor f de correcció a la superfície servida on i és la intensitat pluviomètrica que es vol considerar.

$$f = \frac{i}{100} \quad (\text{Eq 1.11.1.})$$

La intensitat pluviomètrica de la Garriga s'ha obtingut a partir de la figura i la taula següents (figura 1.11.2):



Isoyeta	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Zona A	30	65	90	125	155	180	210	240	275	300	330	365
Zona B	30	50	70	90	110	135	150	170	195	220	240	265

Figura 1.11.2. Taula i gràfica indicadores de la intensitat pluviomètrica de l'estat Espanyol (font: DB HS).

La Garriga es troba a la zona B i concretament en una línia de 60, per tant la intensitat màxima a considerar és de 135 mm/h.

Així, la superfície servida a considerar avaluant l' Eq 1.11.1:

$$f = \frac{i}{100} = \frac{135}{100} = 1.35$$

Per tant, la superfície total a considerar és de:

$$S = S \times 1.35 = 101.25 \text{ m}^2$$

Finalment, el diàmetre a considerar és de 150 mm.

No obstant, si la secció adoptada pel canaló no és semicircular, la secció quadrangular equivalent ha de ser un 10 % superior a l' obtinguda com a secció semicircular.

Pel que fa al pendent del canaló, la solució constructiva per la que s'ha optat és la següent. En lloc d'inclinar el canaló (molta gent opina que és antiestètic), es genera el pendent dins el mateix canaló mitjançant poliuretà. D'aquesta manera, apareix l'alçada extra d'un extrem del canaló a l'altre.

$$h_{\text{extra}}: \frac{h}{6000} \cdot 100 = 1\%, \text{ per tant } h = 60 \text{ mm.}$$

Baixants

El diàmetre corresponent a la superfície, en projecció horitzontal, servida per cada baixant d'aigües pluvials s'obté mitjançant la taula següent:

Superfície en projecció horitzontal servida (m ²)	Diàmetre nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
580	110
805	125
1.544	160
2.700	200

Figura 1.11.3. Taula de diàmetres dels baixants.

De la mateixa manera que s'ha fet pels càlculs dels canals, s'ha triat el diàmetre nominal en funció de la superfície servida. Aquesta superfície equival a 101.25 m².

Per tant, s'ha seleccionat un diàmetre de baixants de 63 mm.

1.12. Instal·lació solar fotovoltaica

A la vessant sud de la coberta de la nau, s'ha projectat una instal·lació solar fotovoltaica de 100,8 kW (90,72 kW de potència nominal) connectada a la xarxa de baixa tensió.

A la memòria de càlcul s'han explicat les característiques dels elements presents a la instal·lació; el dimensionament del cablejat i les proteccions elèctriques; els càlculs de pèrdues i de producció anual esperada realitzats; les característiques de les diferents solucions que es poden adoptar i el càlcul de la subestructura. També s'ha realitzat un anàlisi de rendibilitat econòmica de la inversió, determinant els ingressos per la venda d'energia i el període de retorn.

1.12.1. Descripció general de la instal·lació

La instal·lació es divideix en 10 subgeneradors de 10,08 kW (9.72 kW de potència nominal) amb un inversor de xarxa de 10 kW de potència nominal per cada un.

Cada subgenerador està format per tres cadenes de 12 panells en sèrie, connectades en paral·lel entre elles. Els panells són de silici monocristal·lí,

model SUNPORT 72M de la marca CUANTUM SOLAR, amb una potència pic de 280 Wp.

1.12.2. Descripció dels elements de la instal·lació

La instal·lació es divideix en dues parts: la part de contínua (CC) i la part d'alterna (CA).

1.12.2.1. Costat continua (CC)

Al costat de contínua hi ha 10 subgeneradors amb 36 panells fotovoltaics cadascun, amb 3 cadenes de 12 panells connectats en sèrie mitjançant cables de 4 mm² de secció. Al final de cada cadena hi ha una caixa estanca (30 en total) on es canvia la secció del cablejat de 4 a 6 mm² per tal de reduir la caiguda de tensió en el tram que va des dels panells als inversors. Abans de l'entrada de cada inversor hi ha una altra caixa estanca amb un interruptor seccionador bipolar de CC (on es torna a canviar la secció de 6 a 4 mm²), per poder desconnectar la part de CC quan sigui necessari.

1.12.2.2. Costat d'alterna (CA)

A la part d'alterna hi ha 10 inversors NT 10000 de la casa SUNWAYS aptes per al muntatge en mural.

Cada inversor té tres entrades independents de CC (les 3 cadenes de panells en sèrie de cada subgenerador es connecten a les 3 entrades de CC de cada inversor) i una sortida d'alterna (tant les entrades com sortides requereixen una secció del cablejat de 4 mm²).

A la sortida de cada inversor, hi ha un interruptor tetrapolar contra sobrecàrregues i curtcircuits (dins la mateixa caixa estanca on hi ha els seccionadors de CC), on es canvia la secció del cable de 4 a 25 mm². Llavors, els deu cables de CA s'uneixen al quadre general de protecció de CA, on hi ha un interruptor magnetotèrmic general i un interruptor diferencial general.

De la sortida del quadre general de CA, en surt un únic cable (tetrapolar) de 185 mm² de secció que va fins el conjunt de protecció i mesura (CPM).

Dins el CPM hi ha un altre interruptor magnetotèrmic general i un interruptor diferencial general, tres fusibles (un per cada fase), i tres transformadors de corrent perquè un comptador trifàsic bidireccional (per energia activa i reactiva) pugui llegir tant l'energia generada com la consumida de la instal·lació fotovoltaica.

Després del CPM hi ha la caixa general de protecció (CGP) amb tres fusibles de calibre superior als del CPM. Al costat de la CGP hi ha la caixa de seccionament (CS) que estableix el límit de propietat entre la instal·lació fotovoltaica del particular i la xarxa de l'empresa elèctrica distribuïdora.

El punt de connexió a la xarxa elèctrica és en baixa tensió (400 V) i es realitza a la xarxa de l'empresa distribuïdora o bé a la mateixa escomesa de l'usuari.

1.12.2.3. Proteccions de la instal·lació

Apart de les proteccions mencionades, hi ha altres dispositius de seguretat com la posada a terra o les proteccions incloses al mateix inversor, que són de vital importància per al correcte funcionament de la instal·lació i per assegurar unes condicions mínimes de qualitat de l'energia injectada a la xarxa. Totes elles estan degudament explicades a la memòria de càlcul.

1.12.2.4. Pressupost i anàlisi econòmic de la instal·lació

El pressupost total de la instal·lació fotovoltaica, que inclou transport i muntatge dels elements que la componen, és de 408586 €

A partir d'aquest pressupost i considerant els valors de la producció d'electricitat anual esperada, s'ha realitzat un anàlisi de viabilitat i rendibilitat econòmica de la inversió.

A continuació, es mostra un gràfic (figura 1.12.1) amb l'evolució del benefici net de capital al llarg del 25 anys de vida útil de la instal·lació que com es pot observar es recupera amb 12 anys.

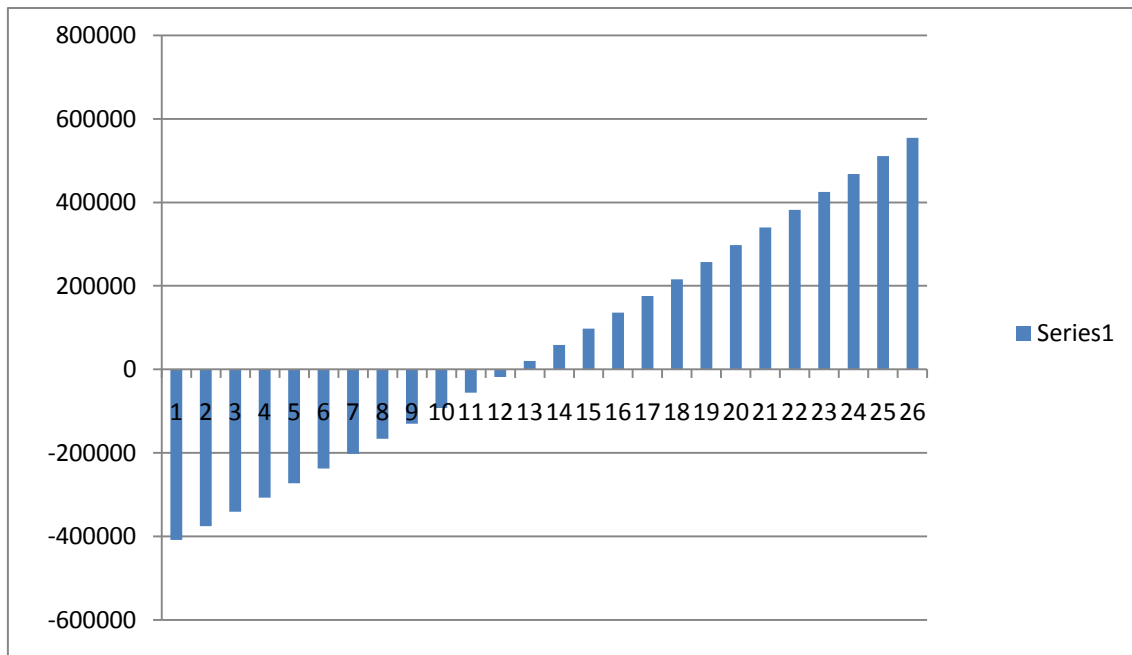


Figura 1.12.1. Gràfic de la rendibilitat de la instal·lació.

1.12.3. Descripció de la subestructura de suport dels panells

Els plafons es fixen a la subestructura mitjançant unes fixacions d'alumini anomenades "clips" (quatre clips per cada panell), que es mostren a la següent figura:



Figura 1.12.2. clips de fixació dels plafons solar a la subestructura.

La subestructura s'ha disposat paral·lelament a la coberta i consta de perfils d'alumini dissenyats especialment per suportar panells. El perfil té una forma similar a una "H", de manera que es posen uns cargols mirant cap amunt per fixar els clips als rails, i uns cargols mirant cap avall (els caps dels cargols

queden a l'interior del perfil) per fixar els rails a unes fixacions amb forma trapezoïdal de la marca Schletter anomenades Fix2000.

A continuació es mostren unes figures (figura 1.12.3 i figura 1.12.4) amb els elements que s'acaben de descriure:

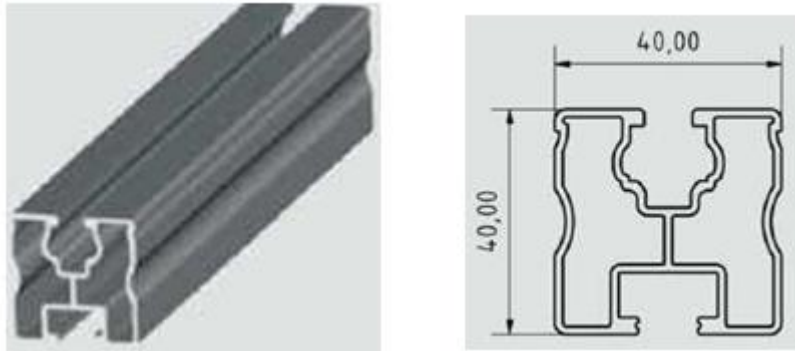


Figura 1.12.3. Perfils d'alumini de suport dels panells.

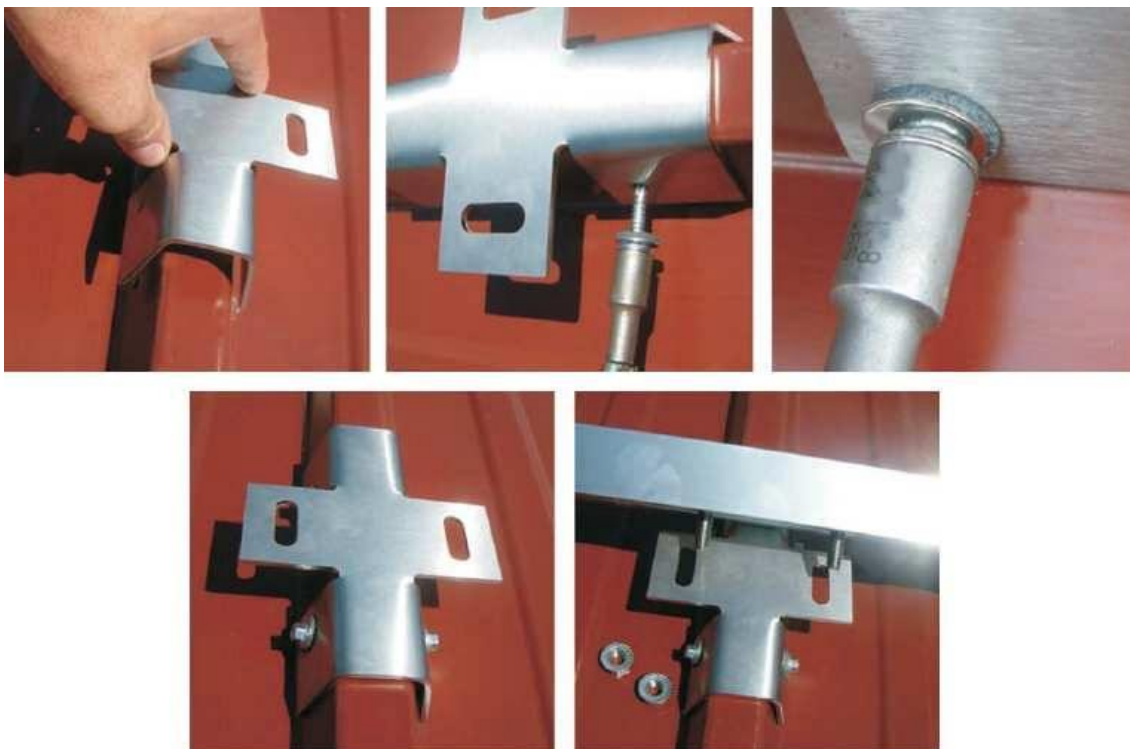


Figura 1.12.4. Fotografies de com fixar els perfils als clips de fixació.

Per evitar pèrdues d'estanquitat es posen tires de cautxú EPDM entre la peça Fix2000 i la greca, i també en els punts de recolzament dels perfils sobre la coberta (on no hi ha peça de fixació), com es mostra a la següent figura:



Figura 1.12.4. Fotografies de la col·locació de les tires de cautxú.

2. Memòria de càlcul

2.1. Càlcul de l'estructura

A continuació, es presenta la memòria de càlcul de l'estructura de la nau que es mostra a continuació (figura 2.1.1).

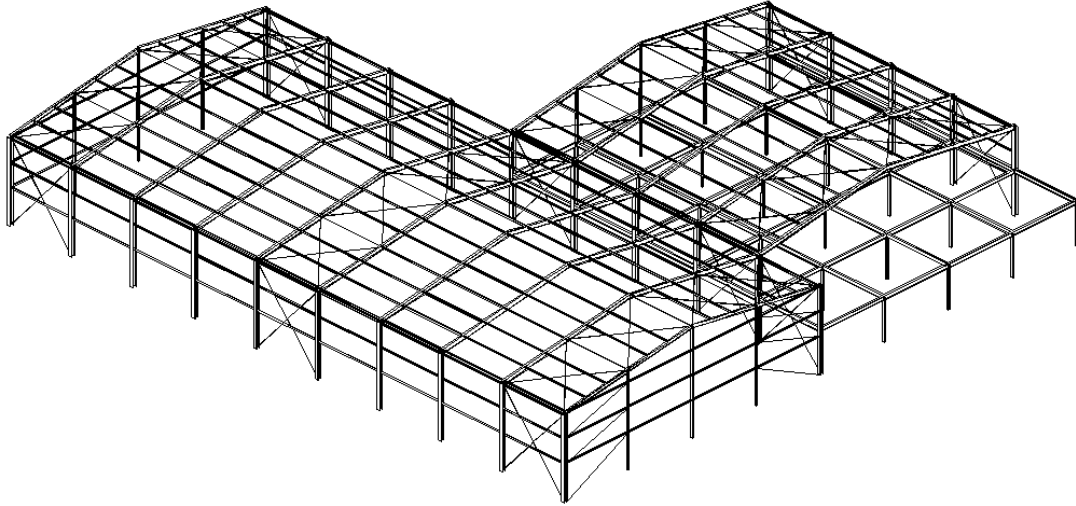


Figura 2.1.1. Vista amb perspectiva de la nau.

A l'hora d'enfocar l'estudi estructural, s'ha optat per fer un càlcul en el pla. Això aporta una visió més clara del que es realitza en cada moment i un aprenentatge més complet. Tot i això, també és un objectiu important l'aprenentatge del bon funcionament i bon ús d'un software de càlcul d'estructures.

Abans de començar amb el càlcul estructural, s'ha realitzat un estudi de les càrregues que actuen sobre l'estructura.

Una vegada dimensionats els elements de l'estructura, s'ha comprovat que compleixin les limitacions que marquen els estats límits de servei i els estats límits últims, segons la normativa CTE.

S'han diferenciat tres fases d'estudi pel càlcul de l'estructura de la nau: la del pla transversal, la de les corretges i dels pilars de façana, i la de l'arriostrament de la nau (pla longitudinal).

L'estudi en el pla transversal s'ha dut a terme diferenciant els tres tipus de pòrtics que hi ha i estudiant-los per separat amb el software de càlcul CYPE 2011. Totes les accions però, s'han introduït fent un estudi i càlcul previ segons la normativa.

Els elements de façana (tancaments, pilars i corretges) han estat dimensionats mitjançant les taules de perfils normalitzats i càlculs realitzats a mà. També s'han analitzat en cada cas les comprovacions necessàries (compliment de la fletxa màxima admissible, estudi de vinclament i tensió màxima).

L'estudi del arriostrament, el monol·litisme estructural de la nau en el seu pla longitudinal, s'ha dut a terme amb càlculs realitzats a mà i seleccionant els perfils més òptims de les taules corresponents. S'ha realitzat mitjançant creus de Sant Andreu i perfils tubulars d'unió dels caps dels pilars, analitzant en cada cas quin podia ser el tipus de perfil més adient i si complia els requisits, tant tensionals com de vinclament.

2.1.1. Criteri de comprovacions dels perfils

D'acord al DB SE (Document Bàsic Seguretat Estructural) es requereix verificar els estats límits.

Els estats límits són aquelles situacions que de no complir-se es pot considerar que l'edifici no compleix els requisits estructurals.

- La estabilitat i la resistència (estats límits últims). Aquells estats que de ser superats constitueixen un risc per les persones.
- L'aptitud pel servei (estats límits de servei). Aquells estats que al ser superats afecten al benestar dels usuaris i a l'aparença d'aquest.

Per la correcta verificació s'han de tenir en compte uns coeficients parcials de seguretat:

Pels coeficients parcials relatius s'han adoptat els següents valors, que marquen l'Eurocodi. Tot i que des d'Europa s'ha donat llibertat a cada país perquè adopti el valor que cregui, a Espanya l'empresa Aenor, encarregada de dictar les normes, encara no ha publicat el DNA (Document Nacional d'Aplicació):

- $\gamma_{M0} = 1.05$, coeficient parcial de seguretat relatiu als esforços sol·licitats a flexió simple
- $\gamma_{M1} = 1.1$, coeficient parcial de seguretat relatiu als fenòmens d'inestabilitat, flexió més compressió i accions axials.
- $\gamma_{M2} = 1.25$, coeficient parcial de seguretat relatiu a la resistència dels medis d'unió.

Aquests coeficients donaran lloc a la resistència de càlcul: el quocient de la tensió del límit elàstic i el coeficient de seguretat del material.

$$F_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M} \quad (\text{Eq. 2.1.1.})$$

On:

f_y : tensió del límit elàstic del material.

γ_M : coeficient parcial de seguretat del material.

També s'ha hagut de tenir en compte el tipus de classe on es troben les seccions dels materials emprats. Segons normativa hi ha quatre classes diferenciades (Figura 2.1.2). En el posterior estudi estructural s'adopta la classe 3 com a vàlida.

Tabla 5.1 Clasificación de secciones transversales solicitadas por momentos flectores

Clase 1: Plástica	Permiten la formación de la rótula plástica con la capacidad de rotación suficiente para la redistribución de momentos.
Clase 2: Compacta	Permiten el desarrollo del momento plástico con una capacidad de rotación limitada.
Clase 3: Semicompacta o Elástica	En la fibra más comprimida se puede alcanzar el límite elástico del acero pero la abolladura impide el desarrollo del momento plástico
Clase 4: Esbelta	Los elementos total o parcialmente comprimidos de las secciones esbeltas se abollan antes de alcanzar el límite elástico en la fibra más comprimida.

Figura 2.1.2. Taula de la classificació de seccions.

2.1.1.1. Resistència de les seccions

Per seccions de classe 3, es segueix un criteri elàstic, i com a secció de càlcul s'adoptarà la totalitat de l'àrea neta.

- Resistència a tracció:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad (\text{Eq.2.1.2. font: DB SE-AE})$$

Si per motius estructural es requereix practicar forat o rebaixos es comprovarà el estrip de l'anima.

- Resistència de la secció a tall:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (\text{Eq.2.1.3. font: DB SE-AE})$$

- Resistència de la secció a compressió:

$$N_{u,Rd} = A_{ef} \cdot f_{yd} \quad (\text{Eq.2.1.4. font: DB SE-AE})$$

Es descomtarà l'àrea dels forats quan aquests no disposin de cargols.

- Resistència de la secció a flexió:

$$M_{el,Rd} = W_{el} \cdot f_{yd} \quad (\text{Eq.2.1.5. font: DB SE-AE})$$

2.1.1.2. Verificacions a realitzar en cada element

2.1.1.2.1. Elements comprimits i flectats

La comprovació s'ha realitzat aplicant la següent fórmula:

$$\frac{N_{ed}}{X_{ly} \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{Ny} \cdot N_{ed}}{X_{lt} \cdot W_{y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z k_z \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{Nz} \cdot N_{ed}}{W_{z} \cdot f_{zd}} \leq 1$$

(Eq.2.1.6. font: DB SE-AE)

On:

N_{ed} , $M_{y, Ed}$ i $M_{z,Ed}$: els valors de la força axial i els moments de càlcul de major valor absolut de la peça.

X_{lt} : coeficient de vinclament lateral (s'adoptarà un valor igual a 1 en peces no susceptibles a vinclament per torsió).

e_{ny} i e_{nz} : desplaçaments del centre de gravetat de la secció transversal efectiva respecte a la posició del centre de gravetat de la secció transversal bruta en seccions de classe 4.

k_y i k_z : s'extreuen de la següent taula (figura 2.1.3):

Tabla 6.9 Coeficientes de interacción según peor clase de sección en la pieza

Cla-se	Tipo de sec-ción	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abier-tas	$1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delga-da		$1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0,6 + \bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y z – z, no mayores que 1,00.

$$N_{C,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Figura 2.1.3. Taula per extreure el valor de k_y , coeficients d'interacció segons classe.(font: DB SE-AE acer)

c_{my} i c_{mz} : s'obtenen de la següent taula (figura 2.1.4) en funció de la forma del diagrama de moments:

El valor del paràmetre, $\alpha = \frac{M_s}{M_h}$


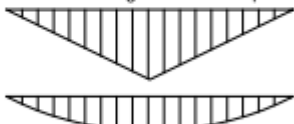
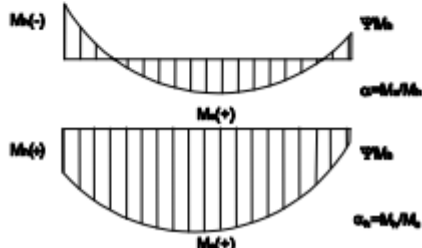
Tabla 6.10 Coeficientes del momento equivalente		
Factor de momento flector	Eje de flexión	Puntos arriostrados en dirección
$C_{m,y}$	y-y	z-z
$C_{m,z}$	z-z	y-y
$C_{m,LT}$	y-y	y-y
Diagrama de Flectores		Factor de momento uniforme equivalente
		$C_{m,i} = C_{m,j} \text{ (} i=y \text{)}$
		$C_{m,i} = C_{m,j} \text{ (} i=z \text{)}$
		$C_{m,i} = C_{m,j} \text{ (} i=LT \text{)}$
<hr/>		
Momentos de extremo $-1 \leq \psi \leq 1$ 		$C_{m,i} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$
<hr/>		
Momento debido a cargas laterales coplanarias 		$C_{m,i} = 0,9$
		$C_{m,j} = 0,95$
<hr/>		
Momentos debidos a cargas laterales y momentos de extremos 		$C_{m,i} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4 \quad \text{si } -1 \leq \alpha \leq 0$ $C_{m,i} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4 \quad \text{si } 0 \leq \alpha \leq 1$ $C_{m,i} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \quad \text{con } -1 \leq \alpha_h \leq 1$

Figura 2.1.4. Taula per extreure el valor de c_m , coeficient del moment equivalent
(font: DB SE-AE acer)

2.1.1.2.1. Fletxes màximes admissibles

Per l'estat límit de servei s'ha tingut en compte la fletxa màxima admissible. S'admet que l'estructura horitzontal d'un pis o coberta és suficientment rígida si per qualsevol de les seves peces, davant de qualsevol combinació d'accions la fletxa és menor que $1/300$.

2.1.1.2.2. Estudi de vinclament

En una barra sotmesa a compressió, hi apareix un coeficient de reducció X degut al vinclament. Per tant l'equació queda definida de la següent manera:

$$N_{b,Rd} = X \cdot A \cdot f_{yd} \quad (\text{Eq.2.1.7. font:DB SE-AE})$$

On:

A: àrea de la secció transversal o àrea eficaç en classe 4.

X: coeficient de reducció per vinclament, el valor del qual s'obté en funció de l'esveltesa reduïda i les corbes de vinclament.

L'esveltesa reduïda es pot definir com l'arrel quadrada entre la resistència plàstica de la secció de càlcul i la compressió crítica per vinclament.

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad (\text{Eq.2.8. font:DB SE-AE})$$

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{Lk}\right)^2 \cdot E \cdot I \quad (\text{Eq.2.9. font:DB SE-AE})$$

Un cop es coneix el valor de l'esveltesa reduïda, s'ha de seleccionar la corba corresponent en cada cas en funció de la següent taula (figura 2.1.5):

Sección transversal		Límites	Pandeo alrededor del eje	Curva de pandeo	
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Secciones de perfiles laminados		$\frac{b}{t_f} \leq 10$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a a ₀
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b a
		$\frac{b}{t_f} > 10$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b a
			$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d c
Secciones de vigas en I armadas soldadas		$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c
		$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	c d
Secciones de perfiles huecos		Acabados en caliente	cualquiera	a	a ₀
		Conformados en frío	cualquiera	c	c
Secciones de vigas en cajón armadas soldadas		En general (excepto caso recuadro inferior)	cualquiera	b	b
		Soldadura onerosa $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	cualquiera	c	c
Secciones de perfiles en U, en T y macizas			cualquiera	c	c
Secciones de perfiles angulares			cualquiera	b	b

Figura 2.1.5. Taula per selecciona la corba de vinclament (font: DB SE-AE acer).

Els criteris a seguir per seleccionar la corba són:

- Tipus de perfil.
- Tipus de material.
- Relació de dimensions.
- Pla en que s'estudia el vinclament.

Les diferent corbes que donen el valor de χ en funció de l'esveltesa reduïda es veuen en la figura 2.1.6:

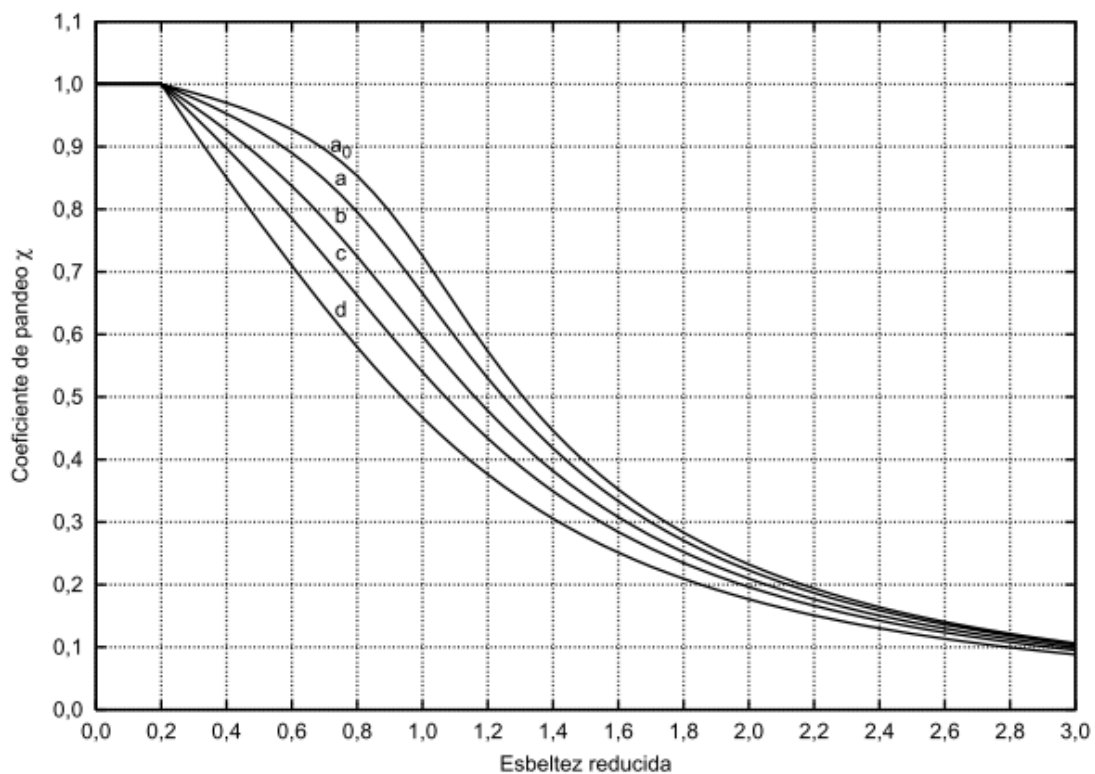


Figura 2.1.6. Corbes de vinclament (font: DB SE-AE acer).

2.1.2. Estudi de les accions

En aquest apartat es defineixen totes les accions que afecten a l'estructura principal, l'estructura que s'ha introduït al software de càlcul.

2.1.2.1. Càrregues permanents

- Instal·lació solar: 0.175 kN/m².
 - 0.125 kN/m² panells fotovoltaic.
 - 0.05 kN/m², subestructura d'alumini de suport de l'equipament fotovoltaic i cablejat.
- Coberta: 0.2 kN/m² (plafons de tancament).
- Corretges: 0.05 kN/m²

2.1.2.2. Sobre càrrega d'ús

La sobrecàrrega d'ús ve definida per la taula de la figura 2.1.7:

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾ ⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Figura 2.1.7. Taula dels valors de les sobre càrregues d'ús segons categoria (font: DB SE-AE acer).

Pel cas de la coberta, s'hauria de seleccionar el tipus G1 i adoptar una càrrega de 0,4 KN/m². En aquest cas però, com es veurà a continuació, la sobre càrrega de neu es superior a la sobrecàrrega d'ús, per tant, al no ser concomitants, només s'adopta la càrrega superior.

Això ve donat per la suposició de que si està nevat no pujaran operaris a realitzar tasques de manteniment i/o reparació.

En el cas de l'altell s'adopta el valor de la categoria B, zones administratives sense accés al públic. Segons la taula esmentada, s'adopta un valor de sobre càrrega d'us de l'altell: 2 kN/m².

2.1.2.3.Sobre càrrega de neu

La distribució i la intensitat de la càrrega de neu sobre una coberta depèn del clima, el tipus de precipitació, el relleu de l'entorn, la forma de la coberta, els efectes del vent i els intercanvis tèrmics en els paràmetres exteriors.

Com a valor de càrrega per unitat de superfície en projecció horitzontal es pot prendre el valor de:

$$Q_n = \gamma \cdot s_k \quad (\text{Eq.2.1.10. font:DBSE-AE})$$

On:

γ : coeficient de forma de coberta.

s_k : valor característic de la càrrega de neu sobre un terreny horitzontal.

Si la construcció està protegida del vent, el valor de la càrrega de neu es podrà reduir en un 20%, si pel contrari està exposada al vent, s'haurà d'augmentar un 20%. Si l'edifici es trobés a una superfície superior als 1000 m. d'altitud, s'hauria de tenir en compte una càrrega lineal " p_n ", deguda a la formació de gel. En el nostre cas, la construcció es troba en una situació d'exposició al vent normal i situada a una altitud de 252m, pel que no s'han tingut en compte aquests factors.

Coeficient de forma:

Degut a que el vent pot acompanyar les nevades i originar un dipòsit irregular de neu sobre la coberta, l'espessor de la capa de neu pot ser diferent en cada faldó. Per la determinació del coeficient de forma s'haurà de seguir la següent regla: En un faldó d'inclinació inferior al 30% i en el que no hi ha impediments al

esllavissament de la neu, s'adoptarà un coeficient de forma igual a 1. Aquest és el cas que ens afecta.

Valor de la càrrega de neu:

El valor de la càrrega de neu en capitals de província adoptarà els valors de la següent taula (figura 2.1.8):

Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almeria	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebastián/Donostia	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	1.000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	10	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	1.090	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	0	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	950	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	550	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Orense / Ourense	130	0,4	Valencia/València	0	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	690	0,4
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria / Gasteiz	520	0,7
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	650	0,4
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	210	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

Figura 2.1.8. Taula dels valors de les càrregues de neu en capitals de província (font: DB SE-AE acer).

En aquest cas, la construcció es troba a prop de la capital de província de Barcelona, però a una altitud de 252 m. Per tant, el valor adoptat seguirà la següent taula (figura 2.1.9):

Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

Figura 2.1.9. Taula dels valors de les càrregues de neu en funció de l'altitud i la zona climàtica (font: DB SE-AE acer).

Adopto el valor de 0.6 ja que correspon a una altitud entre 200 i 400 metres en la zona 2, zona en la qual es troba la meua nau com es pot observar en el següent mapa:



Figura 2.1.10. Mapa de les zones climàtiques a Espanya per la determinació del valor característic de la càrrega de neu sobre un terreny horitzontal (font: DB SE-AE acer).

Per tant avaluant l' Eq 2.1.10.

$$Q_n = \gamma \cdot s_k = 0.6 \text{ kN/m}^2.$$

2.1.2.4. Acció del vent

La força del vent l'he estudiat utilitzant l'expressió extreta del CTE Accions en l'Edificació annex D:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad (\text{Eq.2.1.11.fon:DBSE-AE})$$

On:

q_b : pressió dinàmica del vent, es pot suposar 0,5 kN/m² a tot el territori espanyol. Però per se més exacte s'extreu de l'expressió:

$$q_b = 0.5 \cdot \delta \cdot v_b^2 \quad (\text{Eq.2.1.12.fon:DBSE-AE})$$

On:

δ : densitat de l'aire, 1.25 kg/m^3 .

v_b : velocitat mitjana de l'aire

La densitat de l'aire depèn, entre altres factors, de l'altitud, temperatura ambiental i de la fracció de l'aigua en suspensió. En general es pot adoptar un valor de 1.25 kg/m^3 . Quan es tracta de edificis pròxims al mar la densitat es pot veure augmentada degut a la rosada.

El valor mitjà de la velocitat de l'aire correspon al valor característic de la velocitat del vent durant un període de 10 minuts, mesurada en una zona plana i desprotegida del vent i a una alçada de 10 metres sobre la superfície del terra.

El valor bàsic de la pressió dinàmica també es pot extreure directament adoptant els següents valors: 0.42 kN/m^2 , 0.45 kN/m^2 i 0.52 kN/m^2 per les tres zones, A, B i C respectivament (figura 2.1.11).

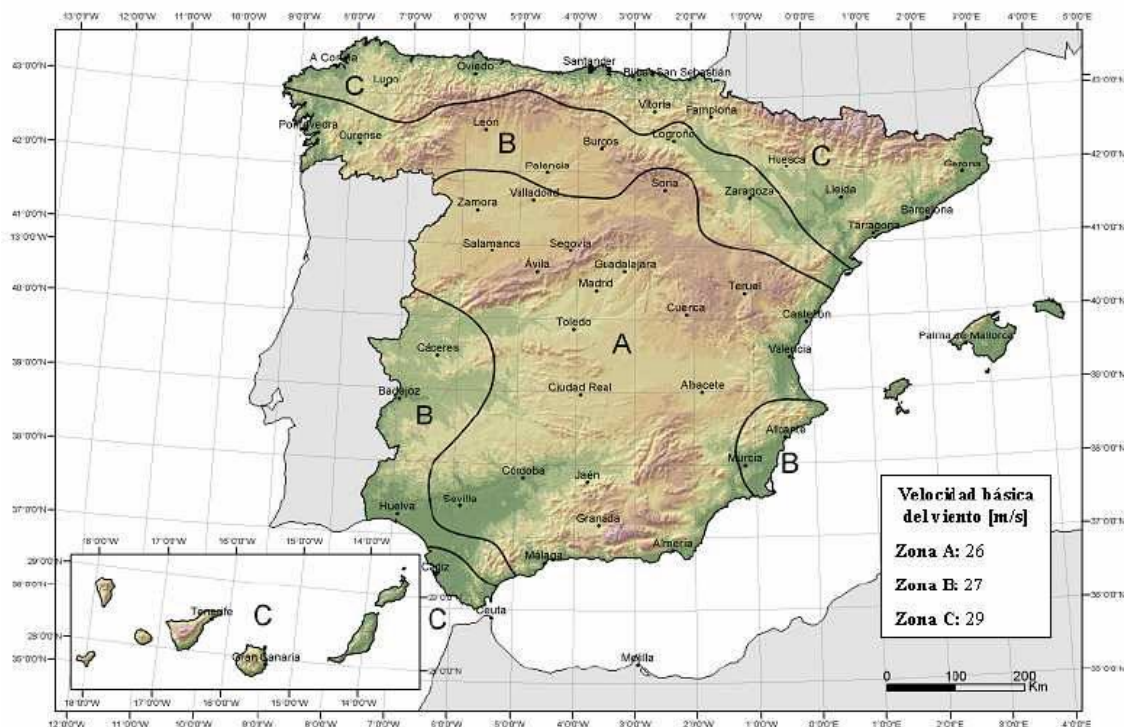


Figura 2.1.11. Mapa de les zones eòliques a Espanya per la determinació del valor de la velocitat mitjana de l'aire (font: DB SE-AE acer).

Avaluant l' Eq 2.1.12. s'obté un valor de:

$$q_b = 0.5 \cdot 1.25 \cdot 29^2 = 525.625 = 0.52 \text{ kN/m}^2.$$

S'obté el mateix valor que el que proposa per defecte el Codi Tècnic.

C_e : coeficient d'exposició

Per altures no superiors a 200 m. s'obté de la següent expressió:

$$c_e = F \cdot (F + 7k) \quad (\text{Eq.2.1.13. font: DBSE-AE})$$

On:

$$F = k I_n (\max (z, Z) / L)$$

On k, L i Z són paràmetres que s'extreuen de la figura 2.1.12.

Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Figura 2.1.12. Taula dels coeficients segons la categoria (font: DB SE-AE acer).

La nostra parcel·la està situada a una alçada superior a 200 m, per tant el valor del coeficient d'exposició (c_e) s'obté en funció de l'alçada de la façana (7m). I s'extreu interpolant de la següent taula entre els valors 1.4 corresponent a 6 m. d'alçada, i 1.7 corresponent a 9 m. d'alçada (figura 2.1.13).

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

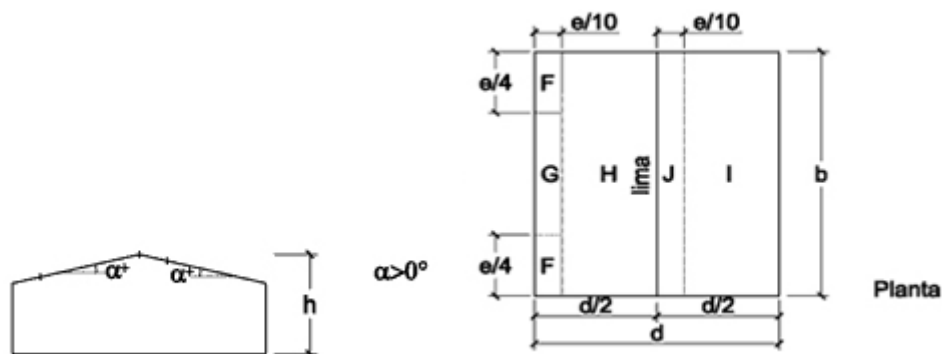
Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Figura 2.1.13. Taula dels valors dels coeficients d'exposició segons la categoria (font: DB SE-AE acer).

Seleccionant la categoria número IV, dona un valor de 1.5.

C_p : coeficient eòlic, depèn de la forma i orientació de la superfície respecte del vent, de la forma de l'edifici i de la seva àrea d'influència.

Aquests valors s'extreuen de les següents taules per a cobertes a dues aigües (figura 2.1.14). El signe indica si es tracta de pressió o succió. En els casos on apareixen dos valors s'haurà d'estudiar tant per succió com per pressió.



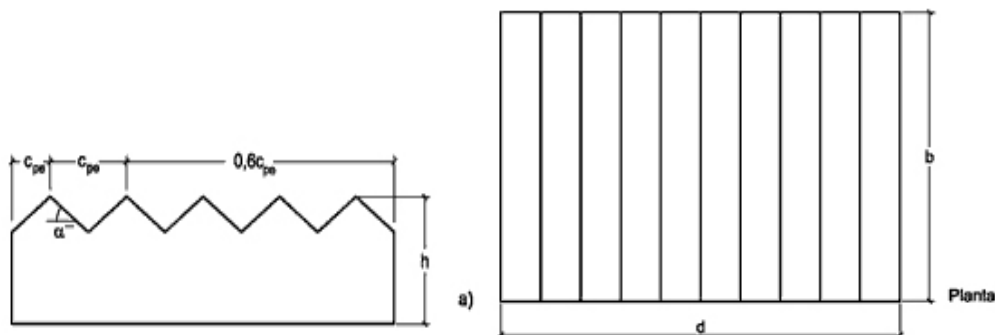
Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
-45°	≥ 10	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1
	≤ 1	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5
-30°	≥ 10	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8
	≤ 1	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4
-15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
	≤ 1	-2,8	-2	-1,2	-0,5	-1,2
-5°	≥ 10	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,6	-0,6
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,6	0,2
15°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	≤ 1	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
30°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,5
45°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
60°	≥ 10	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
75°	≥ 10	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3

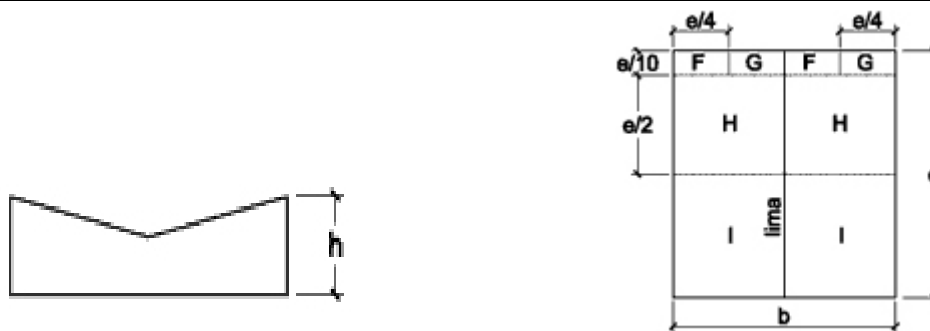
Figura 2.1.14. Taula dels valors dels coeficients eòlic segons la geometria de la coberta (font: DB SE-AE acer).

Com es pot veure a la següent taula (figura 2.1.15), s'ha seleccionat la filera de coberta de 15° i una àrea de superior a 10 m².

La nau s'haurà d'estudiar també com a coberta múltiple, ja que disposa d'una segona nau adossada.

S'han adoptat els següents valors en funció del següent esquema (figura 2.1.15):





Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
-45°	≥ 10	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1
	≤ 1	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5
-30°	≥ 10	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8
	≤ 1	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4
-15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
	≤ 1	-2,8	-2	-1,2	-0,5	-1,2
-5°	≥ 10	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,6	-0,6
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	0,2	0,2
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	0,2	0,2
15°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
30°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
45°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
60°	≥ 10	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
75°	≥ 10	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3

Figura 2.1.15. Taula dels valors dels coeficients eòlic segons la geometria de la coberta (font: DB SE-AE acer).

Això dóna lloc a estudiar la primera vessant de la nau principal de la forma esmentada anteriorment (figura 2.1.14), però s'han de modificar els valors de la resta de la coberta segons la figura 2.1.15.

En aquest cas, s'ha seleccionat una coberta de -15° enlloc de 15° i àrea superior a 10 metres.

Seguint les taules esmentades, s'obtenen uns coeficients d'exposició del vent c_e pels dos tipus de pòrtics respectivament:

Pels últims pòrtics de la nau principal (pòrtics 7,8,9 i 10), que no tenen la nau secundària adossada s'obtenen els següents valors (figures 2.1.16 i figura 2.1.17):

- El vent en coberta actuant com una força de succió:

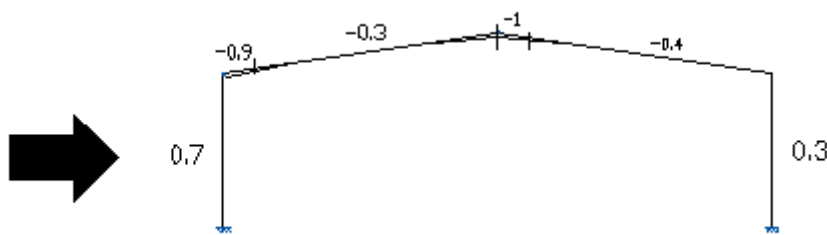


Figura 2.1.16. Vista del pòrtic a dues aigües amb els seus corresponents coeficients eòlics c_e amb al vent actuant com una força a succió en coberta.

- El vent en coberta actuant com una força a pressió:

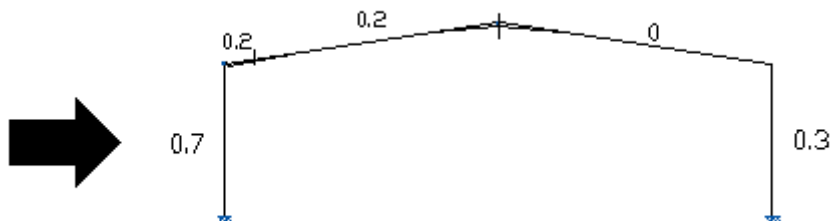


Figura 2.1.17. Vista del pòrtic a dues aigües amb els seus corresponents coeficients eòlics c_e amb al vent actuant com una força a pressió en coberta.

Per la resta de pòrtics, corresponents a les dues naus s'obtenen els següents valors (figura 2.1.18 i figura 2.1.19):

- El vent actuant en coberta com una força de succió:

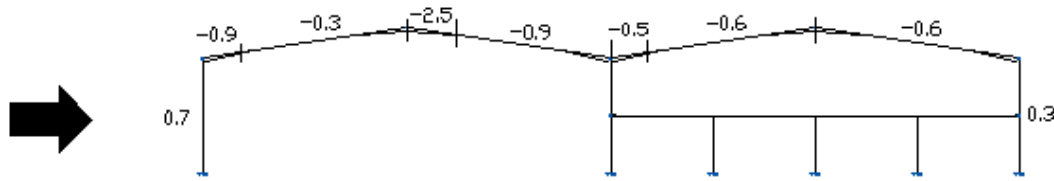


Figura 2.1.18. Vista del pòrtic doble a dues aigües amb els seus corresponents coeficients eòlics c_e amb al vent actuant com una força a succió en coberta.

- El vent actuant en coberta com una força de pressió:

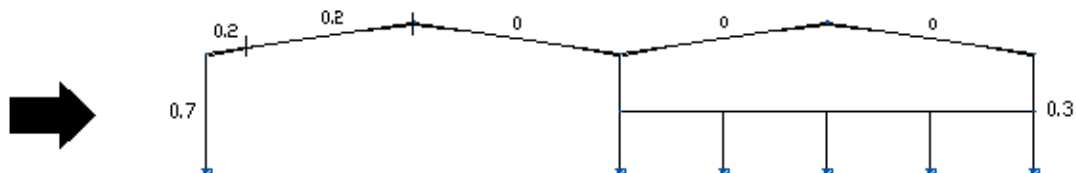


Figura 2.1.19. Vista del pòrtic doble a dues aigües amb els seus corresponents coeficients eòlics c_e amb al vent actuant com una força a pressió en coberta.

2.1.3. Pla transversal

2.1.3.1. Estudi amb el software de càlcul

El software de càlcul escollit per realitzar el càlcul de l'estructura principal, és el programa CYPE 2011, utilitzat durant la carrera. La metodologia a seguir ha estat introduir la geometria corresponent en cada cas i definir els nusos i els tipus de perfil laminat en acer en cada cas.

Per poder fer un càlcul més concret s'han diferenciat tres tipus de pòrtics:

- El primer tipus es tracta dels darrers pòrtics de la nau principal, pòrtics 7, 8, 9 i 10, on no hi ha adossada la segona nau i es tracta d'un pòrtic a dues aigües.

- El segon tipus són els pòrtics més complexos, 2, 3, 4, 5 i 6, pòrtics dobles a dues aigües que també disposen d'un altell destinat a oficines en la nau secundària.
- El tercer tipus és el pòrtic de la façana principal, pòrtic 1, on la càrrega es la meitat de la resta ja que abasta la meitat de la llum.

La façana posterior no s'ha estudiat com un pòrtic de façana, ja que així es preveu la possibilitat de realitzar una futura ampliació, d'aquesta manera ja estaria dimensionada per aquest supòsit.

Després, s'han introduït les diferents accions que ha de suportar el pòrtic, accions calculades prèviament.

- Càrregues permanents.
- Càrrega de neu.
- Acció del vent.

Per últim, un cop introduïda la geometria, l'estat de càrregues i definits els tipus de perfils en cada cas, s'han introduït els paràmetres de vinclament (els coeficients β i les longituds de vinclament L_k).

Al tractar-se de pòrtics a dues aigües, no es coneix el valor de β , pel que s'ha fet un estudi segons el mètode de Wood.

2.1.3.1.1. Estudi a vinclament

Al introduir la geometria del pòrtic manualment al software de càlcul, CYPE 2011, aquest no calcula la corresponent longitud de vinclament per els pilars dels pòrtics. Per tant, s'ha realitzat el càlcul manualment, utilitzant el mètode de Wood per poder introduir el factor corrector en el software.

S'han estudiat dos casos, el pòrtic simple i el pòrtic doble ja que en aquest últim varia la longitud de vinclament pel pilar central.

Ens els altres casos s'han adoptat els següents valors de longituds de vinclament:

- En els pilars que suporten l'altell, 0.7 de la longitud ja que estan encastat a la base i articulats a l'extrem.

- En les bigues de l'altell la totalitat de la seva longitud ja que estan articulades als dos extrems.
- Les llindes dels pòrtics estan fixades cada 6 m en el pla longitudinal. Aquesta longitud correspon al arriostrament realitzat mitjançant les creus de Sant Andreu i situades cada tres corretges.

Mètode de Wood

El primer pas és definir la geometria i els perfils de que es disposen per saber-ne el seu moment d'inèrcia.

En la nau a estudiar, els elements dels pòrtics presenten les següents dades:

- Pilars: HEB 300 amb un $I_x = 25166 \text{ cm}^4$.
- Llindes: IPE 400 amb una $I_x = 23130 \text{ cm}^4$.

En el mètode de Wood es treballa sobre un pòrtic pla. Per tant, s'haurà de trobar el nou moment d'inèrcia de la llinda equivalent al pòrtic a dues aigües amb la següent expressió:

$$I_{eq} = \frac{l}{s} \cdot \frac{4 \cdot I}{6} = 20956 \text{ cm}^4. \quad (\text{Eq.2.1.14.})$$

On.

L: llum del pòrtic a 2 aigües (25m).

S: longitud real de la llinda (12.94m).

Aquest és el moment d'inèrcia que s'ha de fer servir en el càlcul de la rigidesa de les llindes juntament amb el factor corrector γ .

γ : 1.5, bigues amb deformació antimètrica, gir igual i oposat al de l'extrem pròxim. (factor que més s'hi aproxima)

Wood marca unes corbes que determinen el factor β en funció de la següent expressió:

$$\eta = \frac{\sum K_c}{\sum K_c + \sum K_y} \quad (\text{Eq. 2.1.15.})$$

On:

K_c : rigidesa de pilar.

K_y : rigidesa de les bigues.

L'extrem encastat té rigidesa infinita i, per tant, el seu factor η és 0. Llavors, només s'ha de calcular l'extrem amb la llinda.

Es diferencien els dos tipus de pòrtics.

Pòrtic simple:

Avaluant l' Eq. 2.1.15.

$$\eta = \frac{\frac{25166}{7}}{\frac{25166}{7} + 1.5 \frac{20956}{25}} = 0.74.$$

Seguint les següents corbes (figura 2.1.20) s'obté un valor $\beta = 1.42$.

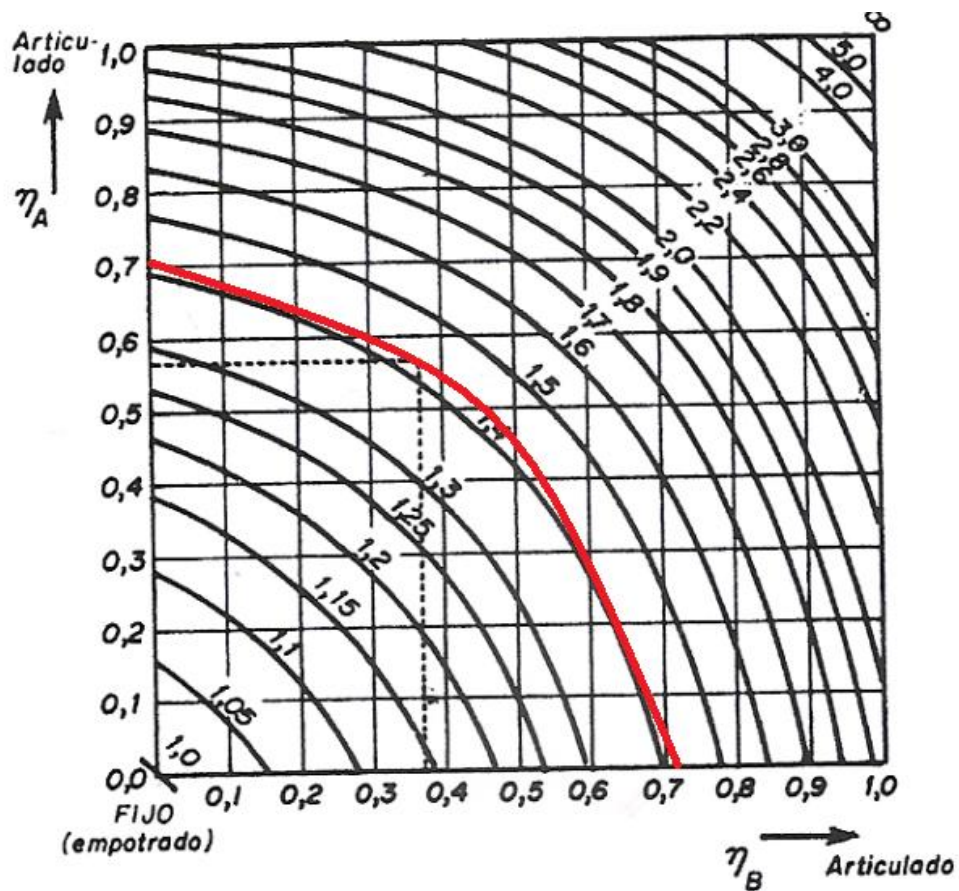


Figura 2.1.20. Corbes de Wood per determinar el factor β .

Aquest valor β és el que s'ha introduït al CYPE 2011 per tal de que el software realitzi un correcte dimensionament dels pilars.

Pòrtic compost:

Té la peculiaritat que en el pilar del mig hi arriben dues llindes. Per tant, es calcula el factor β concret d'aquest pilar

Avaluant l' Eq 2.1.15.

$$\eta = \frac{\frac{25166}{7}}{\frac{25166}{7} + 1.5 \frac{20956}{25} + 1.5 \frac{20956}{25}} = 0.58.$$

Seguint les corbes (figura 2.1.21) s'obté un valor $\beta = 1.27$

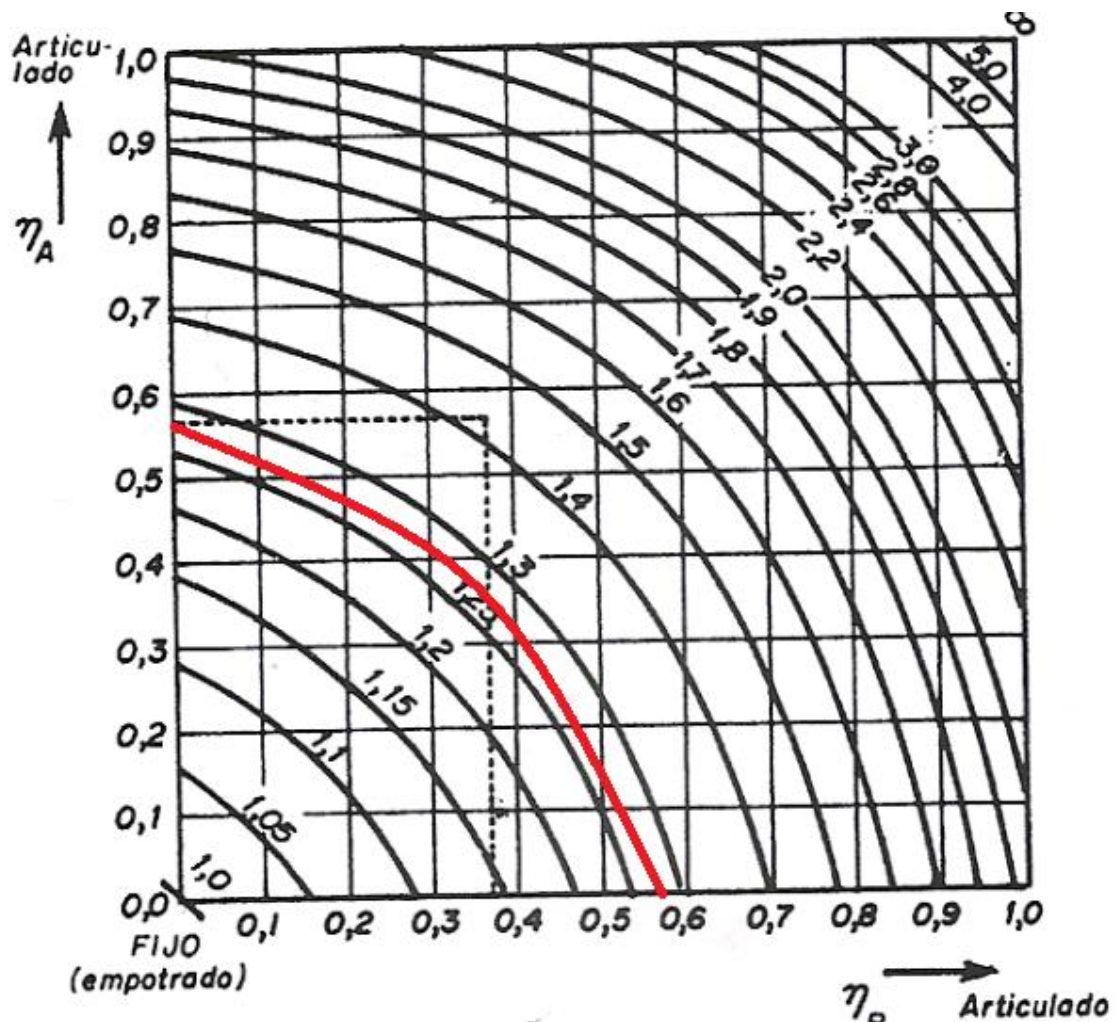


Figura 2.1.21. Corbes de Wood per determinar el factor β .

Aquest valor β és el que s'ha introduït al CYPE 2011 per tal de que el software realitzi un correcte dimensionament dels pilars.

2.1.3.2. Pòrtic tipus 1

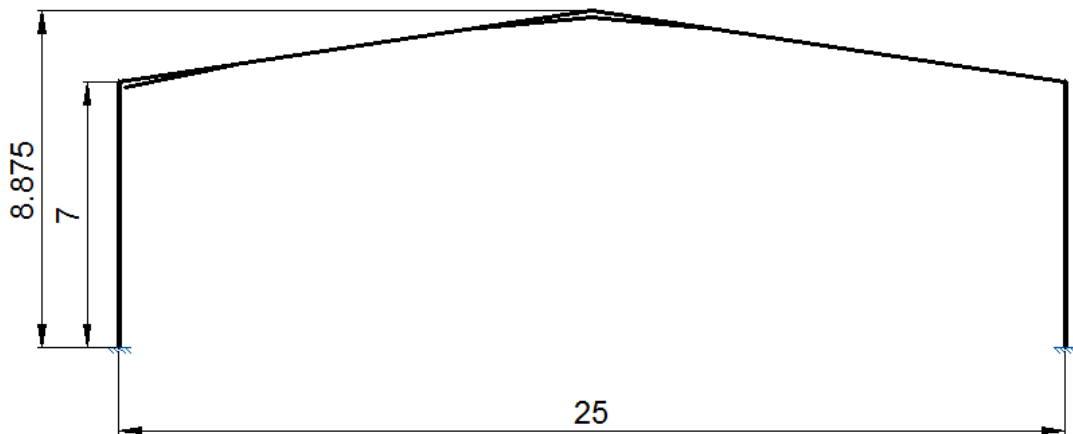


Figura 2.1.22. Vista del pòrtic en el pla transversal.

2.1.3.1.1. Accions

El següent pòrtic (figura 2.1.22) suporta les següents accions que han estat introduïdes al software de càlcul. Les càrregues han estat introduïdes linealment ja que l'estudi es realitza en el pla. Per tant, abasten una llum de 6 m.

Càrregues permanents:

Les càrregues es multipliquen per la llum que abasten (6 m.) ja que és la separació entre pòrtics.

- Instal·lació solar: 0.175 kN/m², dóna lloc a 1.05 kN/ml.
- Coberta: 0.20 kN/m², dóna lloc a 1.20 kN/ml.
- Pes corretges: 0.05 kN/m², dóna lloc a 0.3 kN/ml.

La càrrega de la instal·lació solar només s'aplica a una de les dues vessants, que és la que conté l'equip fotovoltaic.

Càrrega de neu que substitueix la sobre càrrega d'ús:

- Neu: 0.60 kN/m², dóna lloc a 3.60 kN/ml.

Càlcul del vent:

S'han creat dues hipòtesis de vent en coberta, una actuant a succió i l'altre a pressió.

En el programa s'ha d'introduir que aquestes hipòtesis mai poden actuar a la vegada. Si hi ha succió en coberta no hi ha pressió.

Amb l'equació esmentada anteriorment del vent en l'apartat 1.3. *Estudi de les accions* s'obtenen els següents valors en cada tram dels coeficients eòlics pel vent actuant com una força de succió i pressió respectivament (figura 2.1.23 i figura 2.1.24):

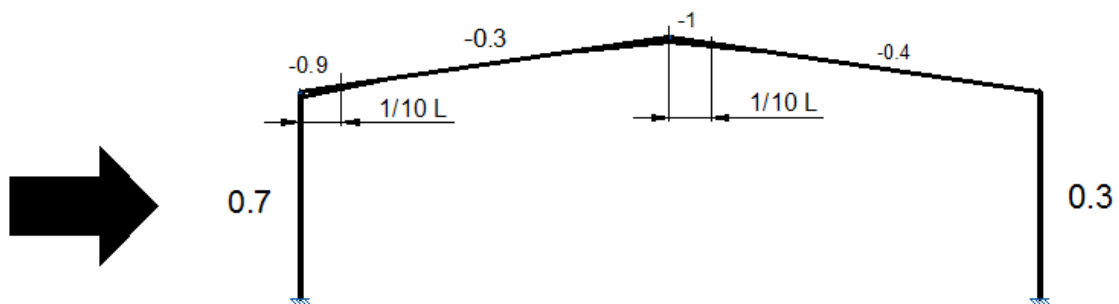


Figura 2.1.23. Coeficients eòlics amb el vent actuant com una força de succió.

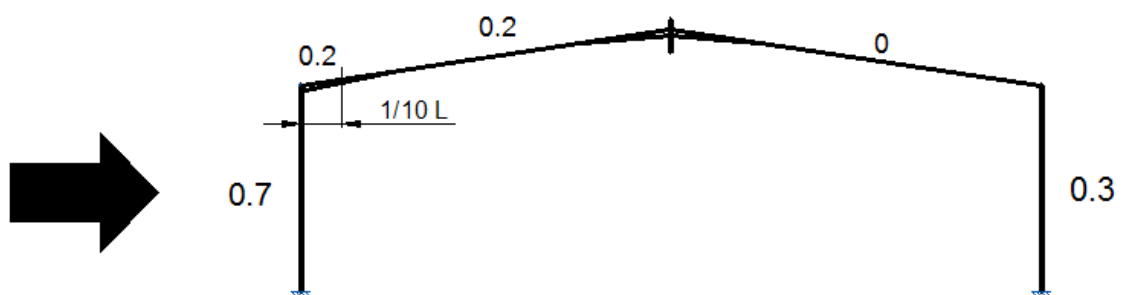


Figura 2.1.24. Coeficients eòlics amb el vent actuant com una força de pressió.

Avaluant l' Eq. 3.2. obtenim els valors corresponents de l'acció del vent per cada tram de coberta i façana.

$$Q = I_{lum} \cdot q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

- Hipòtesis 1 (succió):

$$1 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.7 = 327.6 \text{ kg/ml } (3.28 \text{ kN/ml}).$$

$$2 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-0.9) = -421.2 \text{ kg/ml } (4.21 \text{ kN/ml}).$$

$$3 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-0.3) = -140.4 \text{ kg/ml } (1.4 \text{ kN/ml}).$$

$$4 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-1) = -468 \text{ kg/ml } (4.68 \text{ kN/ml}).$$

$$5 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-0.4) = -187.2 \text{ kg/ml } (1.87 \text{ kN/ml}).$$

$$6 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.3 = 140.4 \text{ kg/ml } (1.4 \text{ kN/ml}).$$

- Hipòtesis 2 (pressió):

$$1 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.7 = 327.6 \text{ kg/ml } (3.28 \text{ kN/ml}).$$

$$2 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.2 = 93.6 \text{ kg/ml } (0.94 \text{ kN/ml}).$$

$$3 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0 = 0 \text{ kg/ml}$$

$$4 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.3 = 140.4 \text{ Kg/ml } (1.4 \text{ kN/ml}).$$

2.1.3.2.2. Estat de càrregues

Totes aquestes accions donen lloc al següent estat de càrregues extret del CYPE 2011 (figura 2.1.25). Les accions del vent les he introduït sobre els eixos locals de la barra.

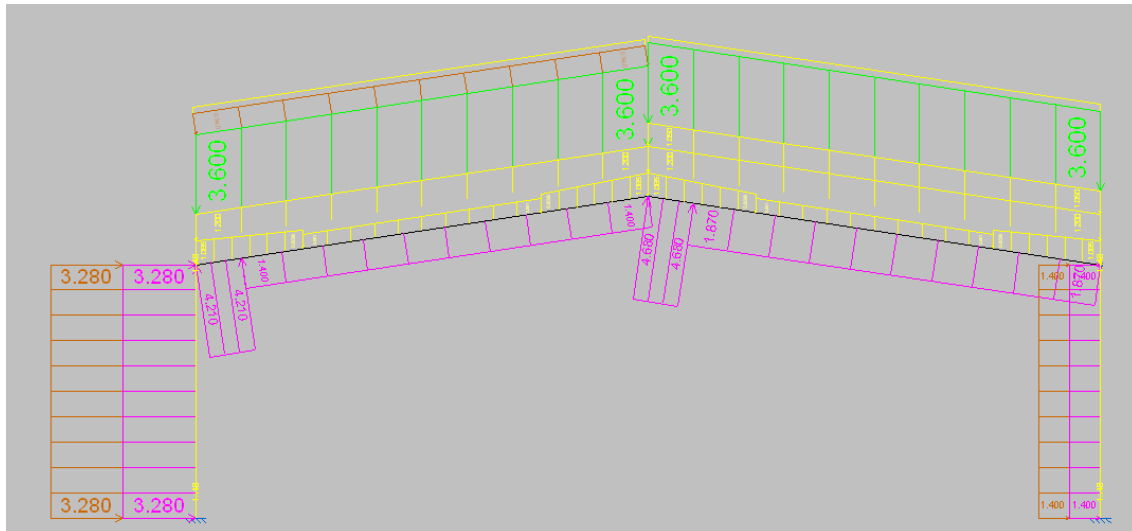


Figura 2.1.25. Estat de càrregues extret del CYPE 2011.

On:

- Càrrega de neu (la càrrega de neu segons norma es projecta horitzontalment, però he considerat, degut a la mínima inclinació de la coberta, $\cos 15 = 0.98$, l'opció representada a la figura).
- Càrrega de vent a succió
- Càrrega de vent a pressió
- Càrrega permanent (pes propi coberta, corretges i instal·lació solar)

Aquests valors de càrrega donen els següents perfils (figura 2.1.26):

- Unes llindes d'un perfil IPE 400 amb unes cartel·les de 3 m, cartel·les que es col·locaran a les diferents unions llinda pilar i llinda llinda.
- Uns pilars d'un perfil HEB 300.

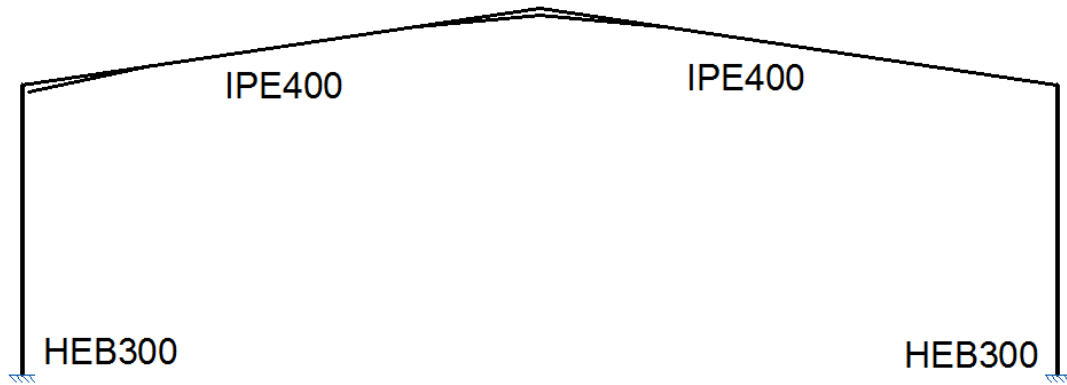


Figura 2.1.26. Pòrtic amb els seus perfils corresponents.

2.1.3.3.3. Diagrames i valors màxims i mínims

El programa edóna l'opció de visualitzar els diferents diagrames que provoquen les càrregues aplicades: moments, axials i tallants i fletxes màximes.

Els diagrames que interessen per a aquest cas, en termes de càlcul, són els diagrames envoltants, ja que marquen els esforços en la situació més desfavorables de totes (figura 2.1.27, figura 2.1.28, figura 2.1.29 i figura 2.1.30).

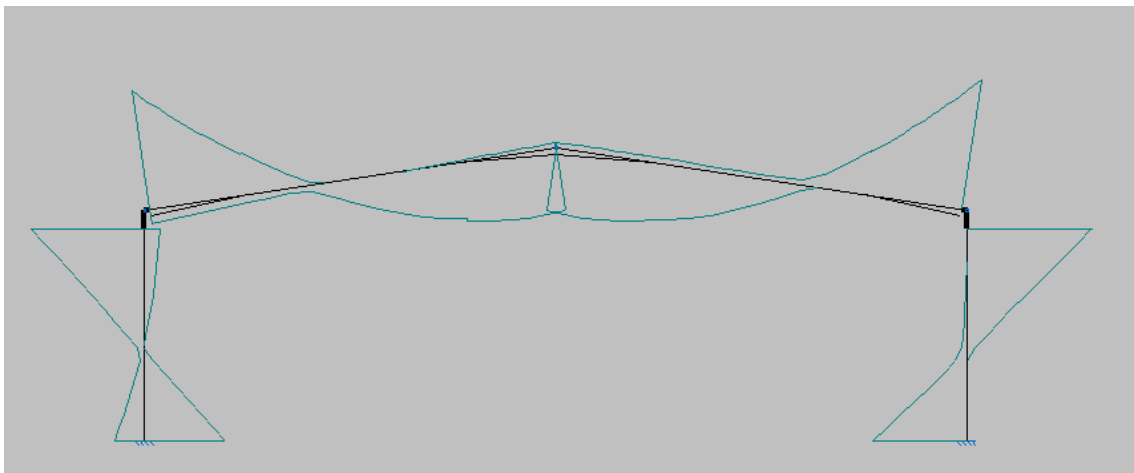
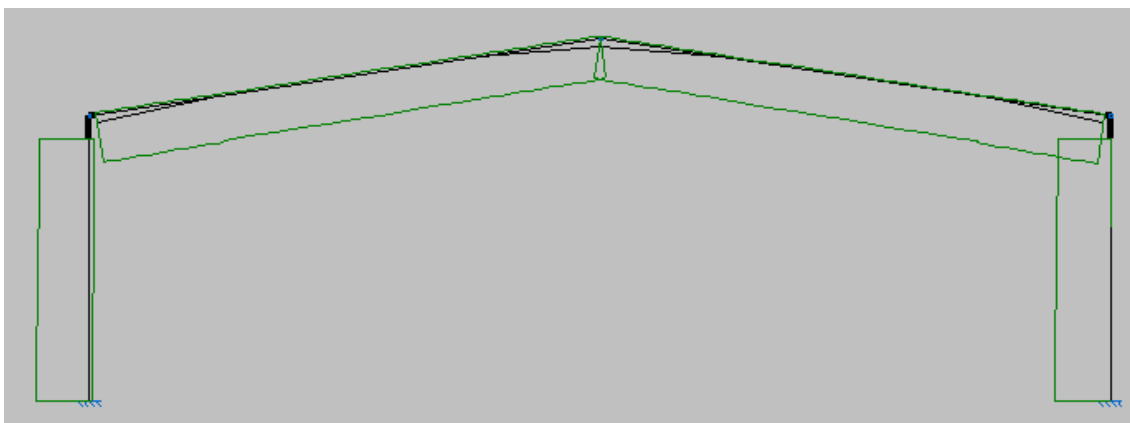
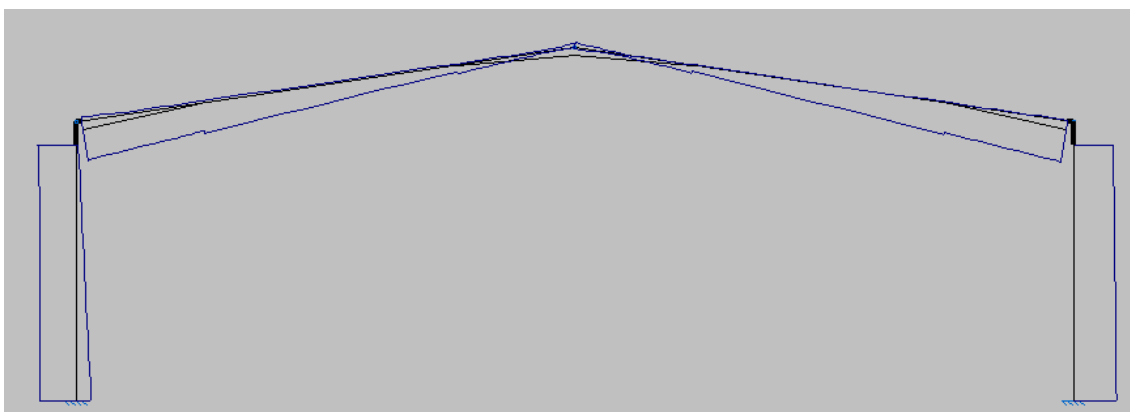
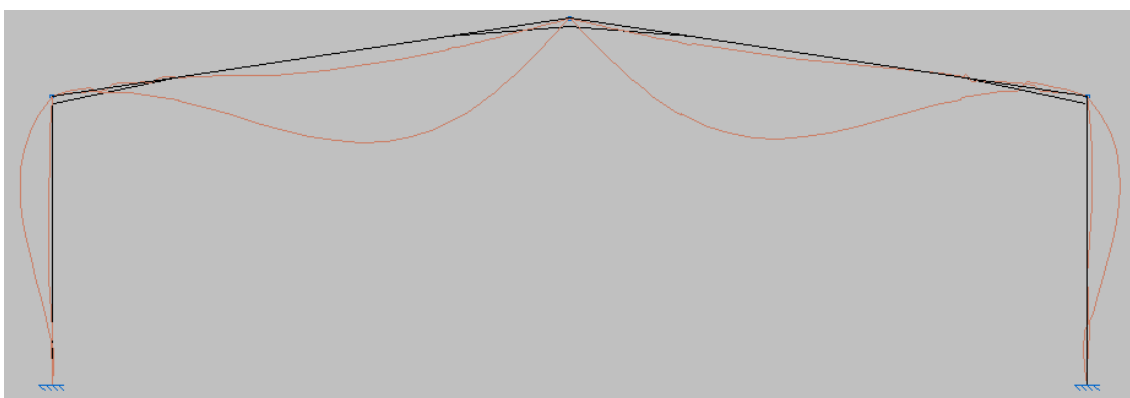


Figura 2.1.27. Envolvent de moments.

**Figura 2.1.28. Envolvent d'esforços axials.****Figura 2.1.29. Envolvent d'esforços tallants.****Figura 2.1.30. Envolvent de la fletxa.**

A continuació s'exposa una taula amb els valors màxims i mínims de cada element en els seus nusos, així com la fletxa màxima (figura 2.1.31).

Diagrama	Pilar esquerra		Pilar dret		Llinda esquerra		Llinda dreta	
	Nus inferior	nus superior	Nus inferior	nus superior	llinda pilar	llinda llinda	llinda pilar	l llinda llinda
Moments (kN·m)	-246	377	286	-409	357	208	389	208
Axial (kN)	-129	-118	-135	-125	-115	-95	-95	-118
Tallants (kN)	-88	-93	103	95	-97	9,2	12,7	-103
Fletxa (mm)	7,7		7,85		22,9		21,9	

Figura 2.1.31. Taula dels valors màxims i mínims de cada diagrama.

2.1.3.3. Pòrtic tipus 2

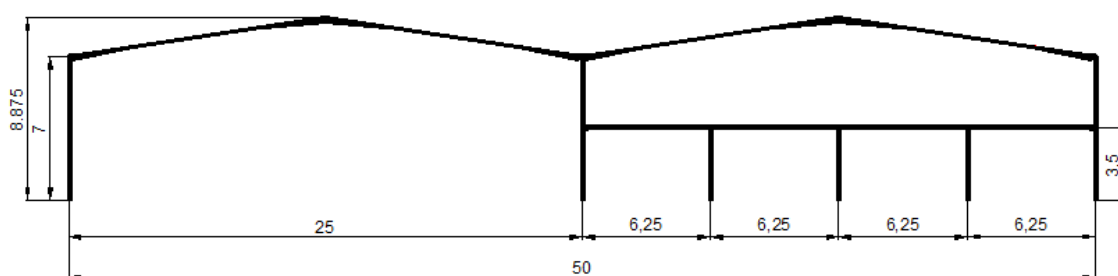


Figura 2.1.32. Vista del pòrtic en el pla transversal

2.1.3.3.1. Accions.

Accions.

El següent pòrtic (figura 2.1.32) suporta les següents accions que han estat introduïdes al software de càlcul. Les càrregues s'han introduït linealment ja que l'estudi es realitza en el pla. Per tant, abasten una llum de 6 m.

Càrregues permanents.

- Instal·lació solar: 0.175 kN/m², dóna lloc a 1.05 kN/ml.
- Coberta: 0.20 kN/m², dóna lloc a 1.20 kN/ml.

- Pes corretges: 0.05 kN/m^2 , dóna lloc a 0.3 kN/ml .

Sobrecàrrega d'us altell.

Aquest pòrtic disposa d'un altell a la nau secundària que pateix unes càrregues pròpies suportades pels propis pilars de l'altell, ja que no carreguen als pilars dels pòrtics.

- Sobrecàrrega d'ús: 2 kN/m^2 , dóna lloc a 12 kN/ml .
- Pes del forja col·laborant: 3.1 kN/m^2 , dóna lloc a 18.6 kN/ml .

Càrrega de neu.

- Neu: 0.60 kN/m^2 , dóna lloc a 3.60 kN/ml .

Càlcul del vent:

S'han creat dues hipòtesis de vent en coberta, una actuant a succió i l'altre a pressió.

En el programa, s'ha introduït que aquestes hipòtesis mai poden actuar a la vegada. Si hi ha succió en coberta no hi ha pressió.

Amb l'equació esmentada anteriorment del vent s'obtenen els següents valors en cada tram per succió i pressió respectivament (figura 2.1.33 i figura 2.1.34):

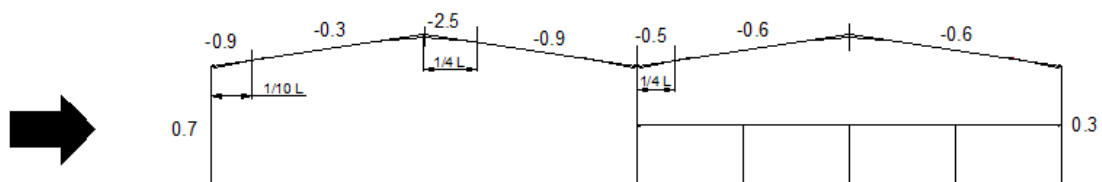


Figura 2.1.33. Coeficients eòlics amb el vent actuant com una força de succió.

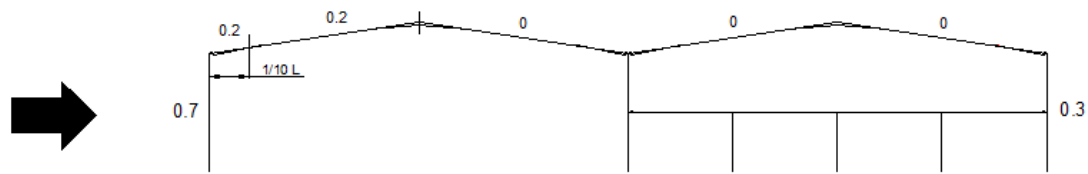


Figura 2.1.34. Coeficients eòlics amb el vent actuant com una força de pressió.

Avaluant l' Eq. 2.1.11. s'obtenen els valors corresponents de l'acció del vent per cada tram de coberta i façana.

$$Q = I_{lum} \cdot q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

- Hipòtesis 1 (succió):

$$1 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.7 = 327.6 \text{ kg/ml (3.28 kN/ml)}.$$

$$2 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-0.9) = -421.2 \text{ Kg/ml (-4.21 kN/ml)}.$$

$$3 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-0.3) = -140.4 \text{ kg/ml (-1.4 kN/ml)}.$$

$$4 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-2.5) = -1170 \text{ kg/ml (-11.7 kN/ml)}.$$

$$5 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-0.9) = -421.2 \text{ kg/ml (-4.21 kN/ml)}.$$

$$6 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-0.7) = -327.6 \text{ kg/ml (-3.28 kN/ml)}.$$

$$7 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-0.5) = -234 \text{ kg/ml (-2.34 kN/ml)}.$$

$$8 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-0.6) = -280.8 \text{ kg/ml (-2.81 kN/ml)}.$$

$$9 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.3 = 140.4 \text{ Kg/ml (1.4 kN/ml)}.$$

- Hipòtesis 2 (pressió):

$$1 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.7 = 327.6 \text{ kg/ml (3.28 kN/ml)}.$$

$$2 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.2 = 93.6 \text{ kg/ml (0.93 kN/ml)}.$$

$$3 = 6 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.3 = 140.4 \text{ Kg/ml (1.4 kN/ml)}.$$

2.1.3.2.2. Estat de càrregues

Totes aquestes accions donen lloc al següent estat de càrregues extret del CYPE 2011 (figura 2.1.35 i figura 2.1.36). Les accions del vent les he introduït sobre els eixos locals de la barra.

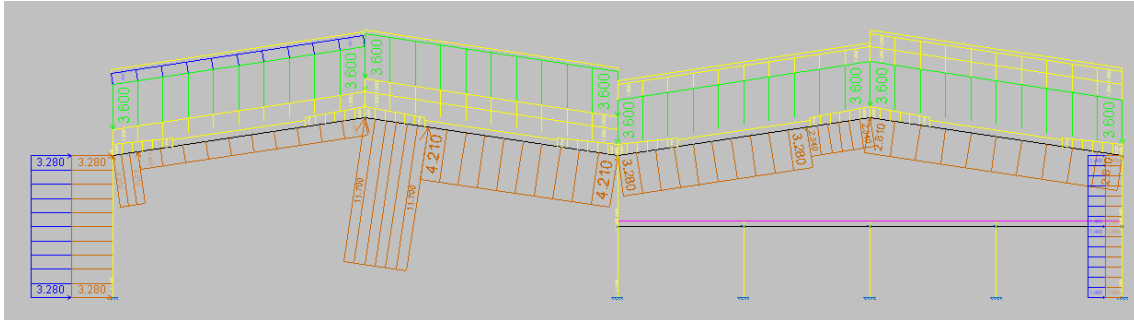


Figura 2.1.35. Estat de càrregues extret del CYPE 2011.

On:

- Càrrega de neu (la càrrega de neu segons norma es projecta horitzontalment, però he considerat, degut a la mínima inclinació de la coberta, $\cos 15 = 0.98$, l'opció representada a la figura).
- Càrrega de vent a pressió.
- Càrrega de vent a succió.
- Càrrega permanent (pes propi coberta, corretges i instal·lació solar)

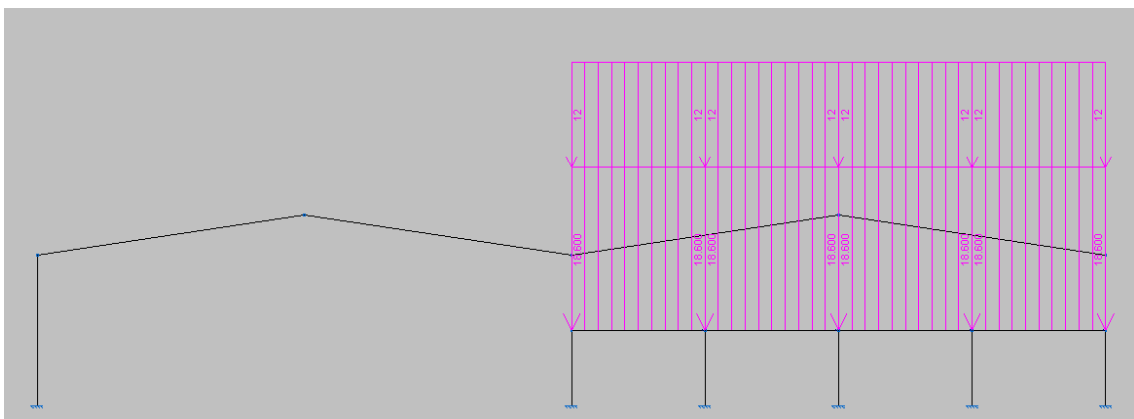


Figura 2.1.36. Estat de càrregues extret del CYPE 2011.

On:

- Càrrega que actua sobre l'altell.

Aquests valors de càrrega donen els següents perfils (figura 2.1.37):

- Unes llindes d'un perfil IPE 400 amb unes cartelles de 3 m, cartelles que es col·locaran a les diferents unions llinda pilar i llinda llinda.
- Uns pilars d'un perfil HEB 300.
- Pilars d'un perfil HEB 140 per l'altell.
- Unes bigues IPE 360 per l'altell.

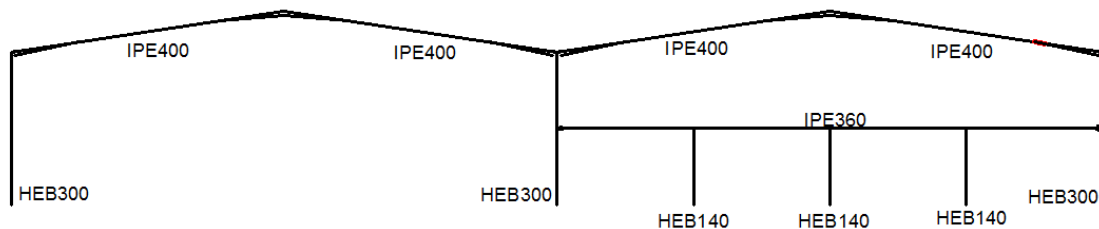


Figura 2.1.37. Pòrtic amb els seus perfils corresponents.

2.1.3.2.3. Diagrames i valors màxims i mínims

El programa dona l'opció de visualitzar els diferents diagrames que provoquen les càrregues aplicades: moments, axials i tallants i fletxes màximes.

Els diagrames que interessen termes de càlcul són els diagrames envolvents, ja que marquen els esforços en la situació més desfavorables de totes (figura 2.1.38, figura 2.1.39, figura 2.1.40 i figura 2.1.41).

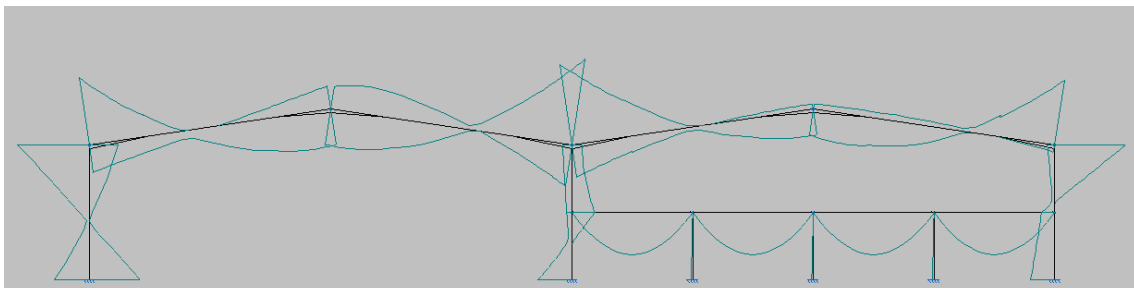
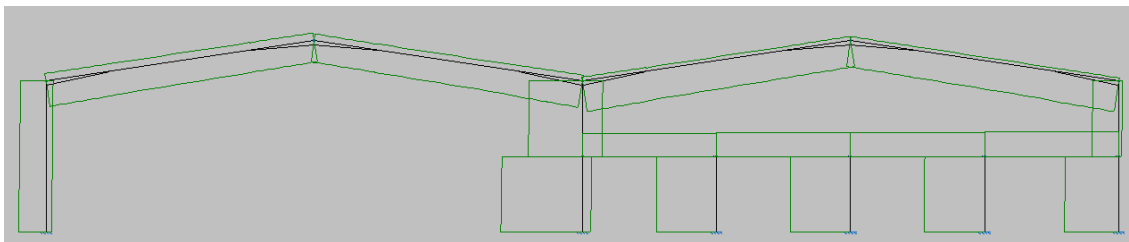
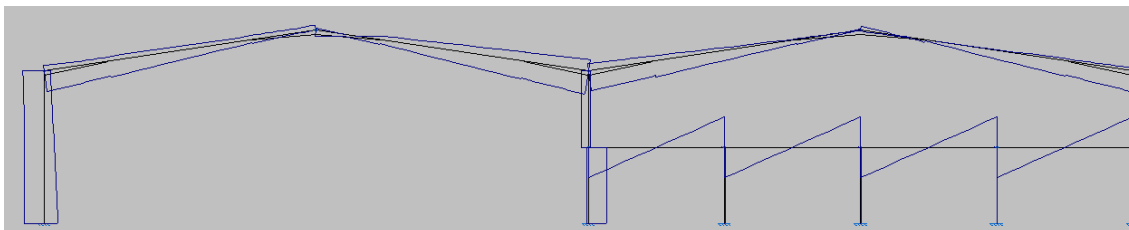
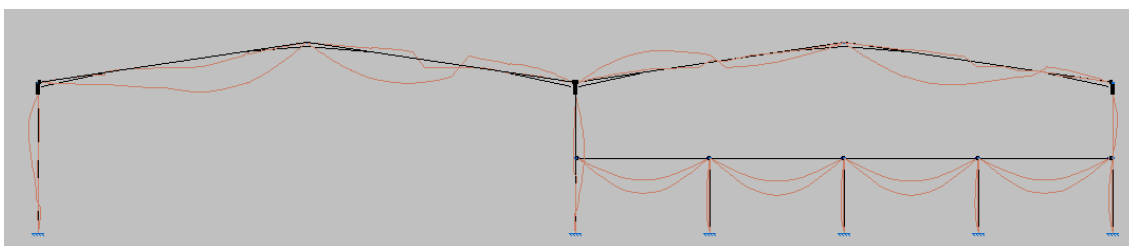


Figura 2.1.38. Envolvent de moments.

**Figura 2.1.39. Envolvent d'esforços axials.****Figura 2.1.40. Envolvent d'esforços tallants.****Figura 2.1.41. Envolvent de la fletxa.**

A continuació s'exposen unes taules amb els valors màxims i mínims de cada element en els seus nusos, així com la fletxa màxima (figura 2.1.42, figura 2.1.43 i figura 2.1.44).

Pòrtic nau principal								
Diagrama	Pilar esquerra		Pilar dret		Llinda esquerra		Llinda dreta	
	Nus inferior	nus superior	Nus inferior	nus superior	llinda pilar	llinda	llinda pilar	llinda
Moments (kN·m)	-259	367	172	-49	-345	183	-441	183
Axial (kN)	-127	-116	-373	-242	-117	-97	-121	-97
Tallants (kN)	-87	-96	80	-31	-95	24	-105	-27
Fletxa (mm)	6,32		5,05		20,05		12,68	

Figura 2.1.42. Taula dels valors màxims i mínims de cada diagrama (pòrtic nau principal).

Pòrtic nau secundària								
Diagrama	Pilar esquerra		Pilar dret		Llinda esquerra		Llinda dreta	
	Nus inferior	nus superior	Nus inferior	nus superior	llinda pilar	llinda	llinda pilar	llinda
Moments (kN·m)	172	-49	123	-359	-415	133	-334	132
Axial (kN)	-373	-242	-249	-118	-140	-120	-140	-118
Tallants (kN)	80	-31	119	23	-90	5	-92	20
Fletxa (mm)	5,05		3,21		10,79		16,16	

Figura 2.1.43. Taula dels valors màxims i mínims de cada diagrama (pòrtic nau secundària).

Altell d'oficines								
Diagrama	Pilar esquerra		pilar central		Pilar dret		biga	
	Nus inferior	nus superior	Nus inferior	nus superior	Nus inferior	nus superior	esquerra	dreta
Moments (kN·m)	8,31	0	8,64	0	8,98	0	214,19	
Axial (kN)	-276	-274	-276	-274	-276	-274	106	
Tallants (kN)	2,37	2,37	2,47	2,47	2,57	2,57	-137	137
Fletxa (mm)	1,62		1,68		1,74		18,901	

Figura 2.1.44. Taula dels valors màxims i mínims de cada diagrama (altell).

2.1.3.4. Pòrtic tipus 3

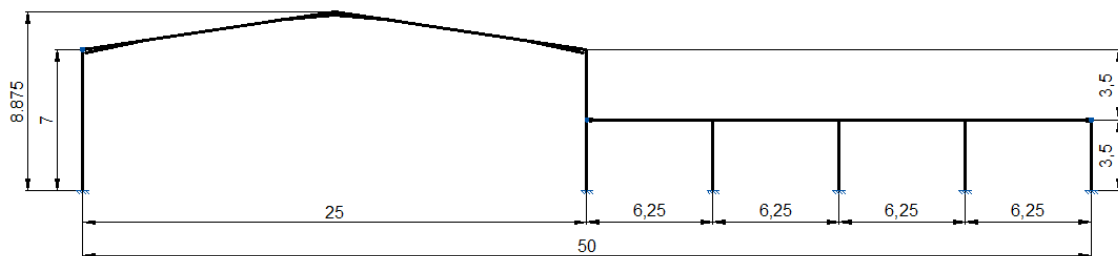


Figura 2.1.45. Vista del pòrtic en el pla transversal.

2.1.3.4.1. Accions

El següent pòrtic (figura 2.1.45) suporta les següents càrregues introduïdes al software de càlcul. Les càrregues s'han introduït linealment ja que l'estudi es realitza en el pla. El pòrtic de façana té la peculiaritat de rebre la meitat de la càrrega, ja que la llum que abasta és la meitat (3 m).

Càrregues permanents.

- Instal·lació solar: 0.175 kN/m^2 , dóna lloc a 0.53 kN/ml .
- Coberta: 0.20 kN/m^2 , dóna lloc a 0.6 kN/ml .
- Pes corretges (on hi ha pòrtic): 0.05 kN/m^2 , dóna lloc a 0.15 kN/ml .

Sobrecàrrega d'us altell.

Aquest pòrtic disposa d'un altell a la nau secundària que pateix unes càrregues pròpies suportades pels propis pilars de l'altell, ja que no carreguen als pilars dels pòrtics.

- Sobrecàrrega d'ús: 2 kN/m^2 , dóna lloc a 6 kN/ml .
- Pes del forja col·laborant: 3.1 kN/m^2 , dóna lloc a 9.3 kN/ml .

Càrrega de neu.

- Neu: 0.60 kN/m^2 , dóna lloc a 1.8 kN/ml .

Càlcul del vent:

S'han creat dues hipòtesis de vent en coberta, una actuant a succió i l'altre a pressió.

En el programa s'ha d'introduir que aquestes hipòtesis mai poden actuar a la vegada. Si hi ha succió en coberta no hi ha pressió.

Amb l'equació esmentada anteriorment del vent, s'obtenen els següents valors en cada tram per succió i pressió respectivament (figures 2.1.46 i figura 2.1.47):

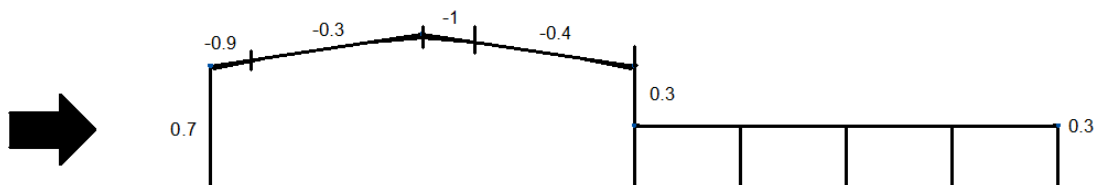


Figura 2.1.46. Coeficients eòlics amb el vent actuant com una força de succió.

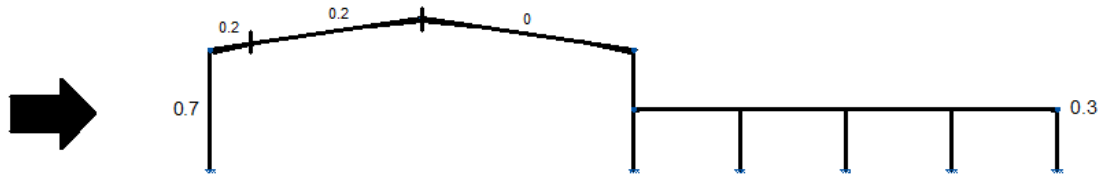


Figura 2.1.47. Coeficients eòlics amb el vent actuant com una força de pressió.

Avaluant l' Eq. 3.2. s'obtenen els valors corresponents de l'acció del vent per cada tram de coberta i façana.

$$Q = I_{lum} \cdot q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

- Hipòtesis 1 (succió):

$$1 = 3 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.7 = 163.8 \text{ kg/ml (1.64 kN/ml).}$$

$$2 = 3 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-0.9) = -210.6 \text{ Kg/ml (2.11 kN/ml).}$$

$$3 = 3 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-0.3) = -70.2 \text{ kg/ml (0.7 kN/ml).}$$

$$4 = 3 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-1) = -234 \text{ kg/ml (2.34 kN/ml).}$$

$$5 = 3 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot (-0.4) = -93.6 \text{ kg/ml (0.94 kN/ml).}$$

$$6 = 3 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.3 = 70.2 \text{ Kg/ml (0.7 kN/ml).}$$

$$7 = 3 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.3 = 70.2 \text{ Kg/ml (0.7 kN/ml).}$$

- Hipòtesis 2 (pressió):

$$1 = 3 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.7 = 163.8 \text{ kg/ml (1.64 kN/ml).}$$

$$2 = 3 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.2 = 46.8 \text{ kg/ml (0.47 kN/ml)}$$

$$3 = 3 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.3 = 70.2 \text{ Kg/ml (0.7 kN/ml)}$$

2.1.3.3.2. Estat de càrregues

Totes aquestes accions donen lloc al següent estat de càrregues extret del CYPE 2011(figura 2.1.49). Les accions del vent s'han introduït sobre els eixos locals de la barra.

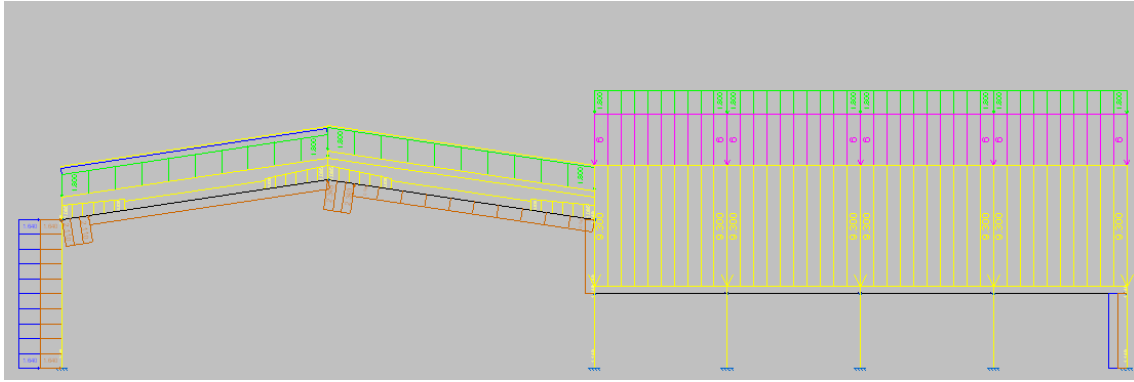


Figura 2.1.49. Estat de càrregues extret del CYPE 2011.

On:

- Càrrega de neu (la càrrega de neu segons norma es projecta horitzontalment, però he considerat, degut a la mínima inclinació de la coberta, $\cos 15 = 0.98$, l'opció representada a la figura).
- Càrrega de vent a pressió.
- Càrrega de vent a succió.
- Càrrega permanent (pes propi coberta, corretges i instal·lació solar)
- Càrrega que actua sobre l'altell.

Aquests valors de càrrega donen els següents perfils (figura 2.1.50):

- Unes llindes d'un perfil IPE 400 amb unes cartel·les de 3 m, cartel·les que es col·locaran a les diferents unions llinda pilar i llinda llinda.
- Uns pilars d'un perfil HEB 300.
- Pilars d'un perfil HEB 140 per l'altell.
- Unes bigues IPE 360 per l'altell.

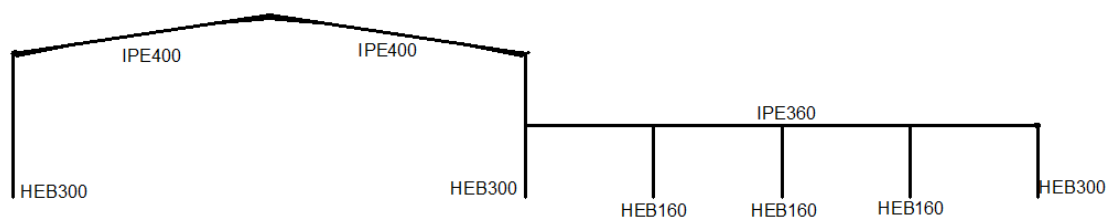


Figura 2.1.50. Pòrtic amb els seus perfils corresponents.

Nota: pels pilars de l'altell, en aquest cas no s'ha adoptat l'opció del software de càlcul, s'han dimensionat aquests pilars seguint els criteris dels pilars de façana, per tant seran un HEB 160.

2.1.3.3.3. Diagrames i valors màxims i mínims

El programa dona l'opció de visualitzar els diferents diagrames que provoquen les càrregues aplicades: moments, axials i tallants i fletxes màximes.

Els diagrames que interessen en termes de càlcul són els diagrames envoltants, ja que marquen els esforços en la situació més desfavorable de totes (figura 2.1.51, figura 2.1.52, figura 2.1.53 i figura 2.1.54).

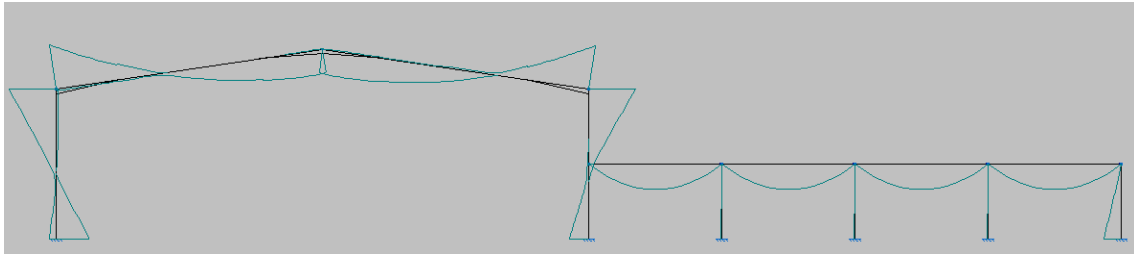


Figura 2.1.51. Envoltent de moments.

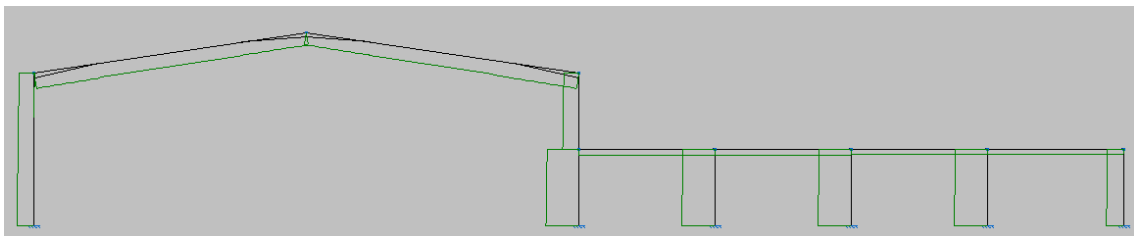


Figura 2.1.52. Envoltent d'esforços axials.

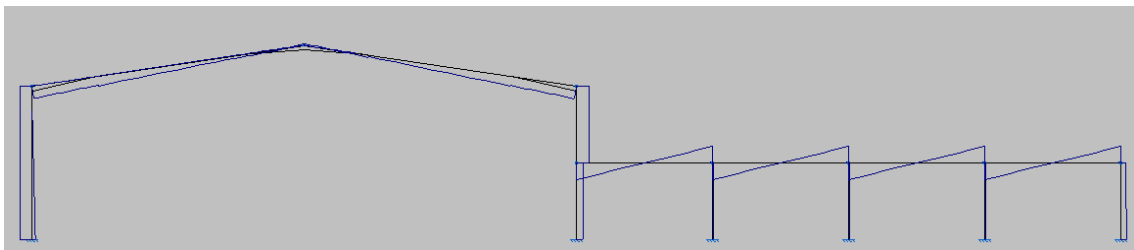


Figura 2.1.53. Envoltent d'esforços tallants.

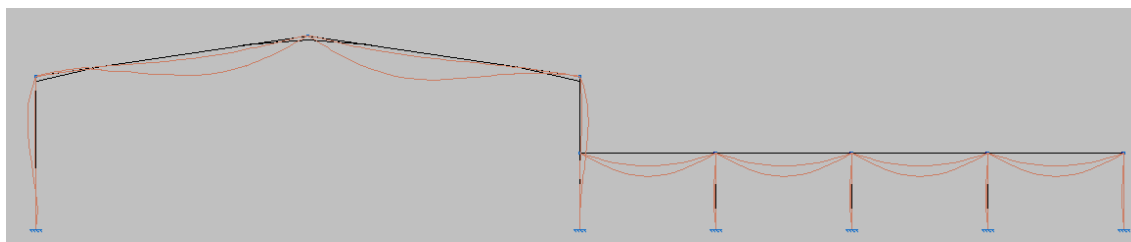


Figura 2.1.54. Envolvent de la fletxa.

A continuació s'exposen unes taules amb els valors màxims i mínims de cada element en els seus nusos, així com la fletxa màxima (figura 2.1.55 i figura 2.1.56).

Pòrtic nau principal								
Diagrama	Pilar esquerra		Pilar dret		Llinda esquerra		Llinda dreta	
	Nus inferior	nus superior	Nus inferior	nus superior	llinda pilar	llinda llinda	llinda pilar	llinda llinda
Moments (kN·m)	-153	218	91	-215	-206	112	-202	111
Axial (kN)	-78	-67	-149	-69	-69	-57	-69	-57
Tallants (kN)	-52	-56	31	57	-54	5	-56	8
Fletxa (mm)	3,83		3,72		10,63		12,53	

Figura 2.1.55. Taula dels valors màxims i mínims de cada diagrama (pòrtic nau principal).

Altell d'oficines								
Diagrama	Pilar esquerra		pilar central		Pilar dret		biga	
	Nus inferior	nus superior	Nus inferior	nus superior	Nus inferior	nus superior	esquerra	dreta
Moments (kN·m)	5,24	0	5,17	0	5,09	0	116	
Axial (kN)	-149	-147	-149	-147	-149	-147	-25	
Tallants (kN)	1,5	1,5	1,48	1,48	1,46	1,46	-74	74
Fletxa (mm)	0,99		0,98		0,96		10,7	

Figura 2.1.56. Taula dels valors màxims i mínims de cada diagrama (altell).

2.1.5. Corretges

A continuació es mostra un dibuix de la distribució de corretges, tant en façanes laterals com en coberta (figura 2.1.57)..

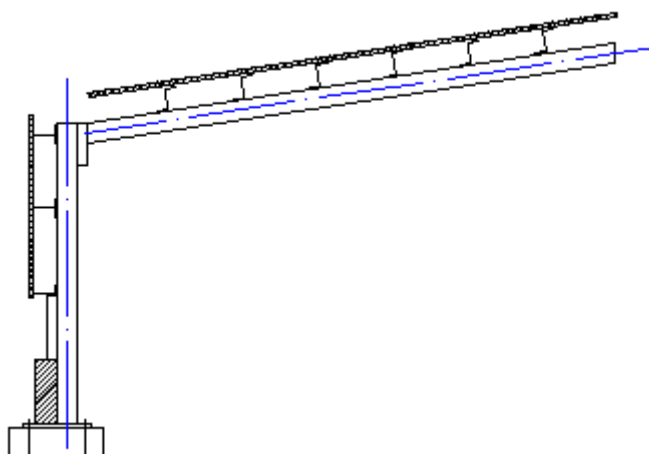


Figura 2.1.57. Secció de la distribució de corretges.

2.1.5.1. Corretges de coberta

Les corretges de coberta són les primeres en rebre el pes de la pròpia coberta, la sobre càrrega d'us i l'esforç del vent. La instal·lació de plaques fotovoltaïques descansa sobre una subestructura que transmet els esforços directament a la estructura principal dels pòrtics, per tant, no es tenen en compte en el dimensionament de les corretges.

Les corretges transmeten els esforços a les llindes i pilars dels pòrtics.

S'han dimensionat les corretges cobertes en base al pòrtic tipus 2, pòrtic doble amb altell, al tractar-se del pòrtic més complert i ser el que pateix un major esforç per part del vent.

2.1.5.1.1. Accions que suporten

Càrregues:

- Neu : $0.60 \text{ kN/m}^2 \cdot 1.5 = 0.9 \text{ kN/m}^2$
- Pes propi de la coberta: $0.2 \text{ kN/m}^2 \cdot 1.35 = 0.27 \text{ kN/m}^2$
- Vent: primer de tot, es determina quina és la situació més desfavorable. Per fer-ho, s'analitzen les màximes càrregues en cada cas:

Màxima càrrega a succió: $1.95 \text{ kN/m}^2 \cdot 1.5 = 2.925 \text{ kN/m}^2$.

Màxima càrrega a pressió: $0.156 \text{ kN/m}^2 \cdot 1.5 = 0.234 \text{ kN/m}^2$.

L'acció combinada més desfavorable és:

- Vent a succió: $0.6 + 0.2 - 2.925 = -2.125 \text{ kN/m}^2$. (en aquest cas no he majorat les accions del pes propi i la neu ja que així encara és una situació més desfavorable).
- Vent a pressió: $0.9 + 0.27 + 0.234 = 1.404 \text{ kN/m}^2$.

L'acció més desfavorable és per tant, el vent actuant com una força a succió sobre la coberta.

La càrrega total a suportar per les corretges és el sumatori de les tres càrregues que hi actuen (neu, pes propi coberta i vent).

$$Q = 0.6 + 0.2 - 2.925 = -2.125 \text{ kN/m}^2$$

(el signe menys indica que és una càrrega a succió).

Per definir les corretges s'ha de determinar primer el tancament ja que em determinarà la màxima separació possible entre elles. En el meu cas, com ja he explicat a l'apartat dels tancaments, he escollit uns plafons que es descriuen en la següent taula (figura 2.1.58).

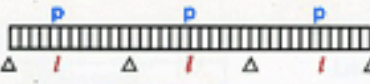
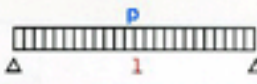
S (mm)	K		Peso panel Kg/m ²											
	Kcal m ² ·°C	Watt m ² ·°C		P= Kg/m ²					P= N/m ²					
					60	80	100	120	150	60	80	100	120	150
50	0,65	0,75	16,05	L=m	3,75	2,84	2,31	1,94	1,57	3,97	3,33	2,67	2,24	1,81
80	0,42	0,49	19,05	L=m		4,50	3,65	3,08	2,48	5,05	4,38	3,91	3,54	2,88
100	0,34	0,40	21,05	L=m			4,55	3,82	3,09	5,65	4,89	4,38	3,99	3,56
120	0,29	0,34	23,05	L=m				4,58	3,71	6,17	5,34	4,80	4,38	3,92

Figura 2.1.58. Taula dels plafons de tancament de coberta i façanes laterals facilitada pel fabricant.

Per raons estructurals interessa separar les corretges a una distància de 2 m.

Segons la taula esmentada, s'ha adoptat el plafó número 3, amb un gruix de 100 mm. i un pes de 21.05 kg/m², lleugerament superior als 20 kg/m² suposats. Aquest plafó permet una separació màxima entre corretges de 3.09 m suportant una càrrega de 150 kg/m².

La càrrega lineal que han de suportar les corretges equival a la càrrega Q per la distància que abasten:

$$P = -2.125 \text{ kN/m}^2 \cdot 2 \text{ m de llum} = -4.25 \text{ kN/ml. (42.5 N/cm}^2\text{)}$$

El perfil més òptim per les corretges de coberta en aquest cas, i a efectes de lleugeresa, és el perfil amb Z. A més, el perfil és molt adequat per a cobertes amb inclinació, degut a que la seva asimetria compensa la torsió a que estan sotmeses.

S'han seleccionat uns perfils conformats en fred, fabricats amb acers laminats en calent segons la Norma UNE-EN 10025

2.1.5.1.2. Dimensionament de les corretges.

El moment màxim que han de suportar degut a les accions i que determinarà el mòdul resistent necessari per un predimensionament coherent equival a :

$$M = \frac{Pl^2}{8} = \frac{4250 \cdot 6^2}{8} = 19125 \text{ N}\cdot\text{m.} \quad (\text{Eq. 2.1.16.})$$

Aquest moment dóna un mòdul resistent:

$$W = \frac{M}{\frac{f_y}{\gamma_{m0}}} = \frac{1912500}{\frac{27500}{1.05}} = 73.02 \text{ cm}^3. \quad (\text{Eq. 2.1.17.})$$

Segons la taula de perfils conformats en fred, això dóna lloc a un perfil Z de 250x3 (W=90.63 cm³).

2.1.5.1.3. Comprovació del perfil

S'ha comprovat que el perfil compleixi els estats límits últims:

- Fletxa màxima admissible

$$f = \frac{5 \cdot Pl^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 42.5 \cdot 600^4}{384 \cdot 2.1 \cdot 10^8 \cdot 1165.56} = 0.29 \text{ cm} \quad (\text{Eq. 2.1.18.})$$

$$\text{fletxa vàlida} = \frac{L}{300} = \frac{600}{300} = 2 \text{ cm} > 0.29 \text{ cm.}$$

Perfil vàlid. Les corretges de coberta són perfils conformats amb fred de Z 250 x 3.

2.1.5.2. Corretges laterals

La façana lateral, estarà constituïda per tres espais diferenciats: el primer és un mur perimetral d'1.5 m. d'alçada i el segon és un finestral d'1,5 m. d'alçada, per que la nau gaudeixi de llum solar i 4 m de tancament amb els mateixos plafons de coberta.

Es col·loquen les corretges a una separació de 2 m., això dóna lloc a tres fileres de corretges. En la filera inferior s'utilitza un perfil en "U", ja que facilita constructivament el muntatge del finestral. Les altres dues fileres, són perfils IPE.

2.1.5.2.1. Accions que suporten

Aquestes corretges suporten un esforç, degut a l'impacte del vent sobre els tancaments de façana.

$$\text{Esforç del vent } P = 2 \cdot q_b \cdot c_e \cdot c_p = 109.2 \text{ kg/m (1.09 kN/m)}$$

2.1.5.2.2. Dimensionament de les corretges

Aquesta càrrega lineal dóna lloc a un moment M:

$$M = \frac{Pl^2}{8} = \frac{1092 \cdot 6^2}{8} = 4914 \text{ N}\cdot\text{m.} \quad (\text{Eq. 2.1.19.})$$

Es predimensiona el perfil a partir del seu mòdul resistent, tenint en compte el coeficient de majoració corresponent per una acció variable.

$$W = \frac{M \cdot 1.5}{\frac{f_y}{\gamma_m}} = \frac{737100}{\frac{27500}{1.05}} = 28.14 \text{ cm}^3. \quad (\text{Eq. 2.1.20.})$$

Segons la taula de perfils laminats, es podria seleccionar un IPE 100 ($W=34.2 \text{ cm}^3$), però s'ha considerat massa poc rígid i amb probabilitat d'excessives vibracions i deformacions. Per això, s'ha triat l'immediatament superior, un perfil IPE 120 (53 cm^3).

2.1.5.2.3. Comprovació del perfil

S'ha comprovat que el perfil compleix els estats límits últims:

- Fletxa màxima admissible

$$f = \frac{5 \cdot Pl^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 10.9 \cdot 600^4}{384 \cdot 2.1 \cdot 10^8 \cdot 318} = 0.28 \text{ cm.} \quad (\text{Eq. 2.1.21.})$$

$$\text{fletxa vàlida} = \frac{L}{300} = \frac{600}{300} = 2 > 0.28 \text{ cm.}$$

Per tant, el perfil IPE 120 és vàlid per les corretges de façanes laterals.

Per la primera filera amb perfil en "U", també s'ha seleccionat un perfil UPN 120 per facilitats constructives.

2.1.5.3. Corretges de façanes frontals

S'han col·locat tres fileres de corretges. La primera a 3 m de terra, distància obligada per la col·locació de les portes. Tot i això, en la façana posterior s'ha suprimit un segment de la primera filera per poder fer més alta la porta. Les dues portes següents s'han col·locat a 2 m de terra cada una. El perfil seleccionat per les corretges de façana ha estat un perfil IPE.

L'esforç màxim del vent a suportar correspon a la corretja inferior de la façana posterior, ja que li correspon la major àrea tributària. Aquesta equival a la meitat de la part inferior (2.5m) i la meitat de la part superior (1m), com es pot observar a la figura 2.1.59. Amb l'esforç que s'obté amb aquesta àrea es calcula el perfil més adient.

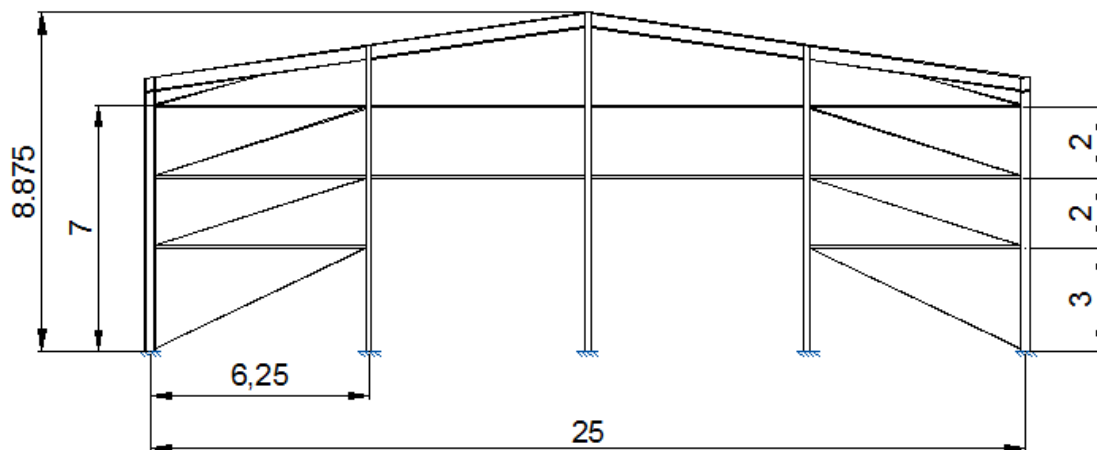


Figura 2.1.59. Alçat de les façanes frontals.

2.1.5.3.1. Accions que suporten

Les corretges han de suportar un esforç del vent equivalent a:

$$P = \text{àrea tributària} \cdot q_b \cdot c_e \cdot c_p = 3.5 \cdot 52 \cdot 1.5 \cdot 0.7 = 191 \text{ kg/ml (1.91 kN/ml)}$$

2.1.5.3.2. Dimensionament de les corretges

Aquest esforç P dóna lloc a un moment M:

$$M = \frac{Pl^2}{8} = \frac{1910 \cdot 6.25^2}{8} = 9326 \text{ N}\cdot\text{m.} \quad (\text{Eq. 2.1.22.})$$

Un cop obtingut el moment que suporten les corretges de façanes principals, es predimensiona el perfil més òptim en funció del mòdul resistent, aplicant el factor de majoració corresponent.

$$W = \frac{Ma \cdot 1.5}{\frac{f_y}{\gamma_m}} = \frac{932600 \cdot 1.5}{\frac{27500}{1.05}} = 53.41 \text{ cm}^3 \quad (\text{Eq. 2.1.23.})$$

Això dóna lloc a un IPE 140. ($W = 77.3 \text{ cm}^3$).

2.1.5.3.2. Comprovació del perfil

- Fletxa màxima admissible:

$$f = \frac{5 \cdot Pl^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 19.1 \cdot 625^4}{384 \cdot 2.1 \cdot 10^8 \cdot 541} = 0.33 \quad (\text{Eq. 2.1.24.})$$

$$\text{fletxa vàlida} = \frac{L}{300} = \frac{625}{300} = 2.08 > 0.33 \text{ cm.}$$

En aquest cas, s'ha consultat a fabricants de mur cortina per saber si hi ha alguna norma que limiti més la fletxa degut a la fragilitat del vidre. Com que no és el cas, s'ha adoptat aquesta condició com a vàlida.

Per tant, és un perfil vàlid. Les corretges de façanes frontals són un IPE 140.

2.1.6. Pilars de façana

Les façanes frontals són les encarregades de tancar la nau en el seu pla transversal, cal distingir que hi ha una façana frontal (façana principal), d'accés al públic, i per tant es té més present el factor estètic.

Per la façana principal, el tancament s'ha realitzat mitjançant un mur cortina explicat en l'apartat de tancaments. En canvi a la façana posterior el tancament és igual que el de coberta o façanes laterals (plafons de xapa).

Les dues façanes s'han dissenyat i dimensionat amb els mateixos tipus de perfils, (pilars HEB).

Les façanes queden definides de la següent manera.

2.1.6.1. Càlcul dels pilars de façana

A la façana s'han col·locat tres pilars: un central que serà el de màxima llum, amb 8.875 m, i dos pilar més situats a banda i banda a, una distancia de 6.25 m del pilar central i dels pilars dels pòrtics (figura 2.1.60).

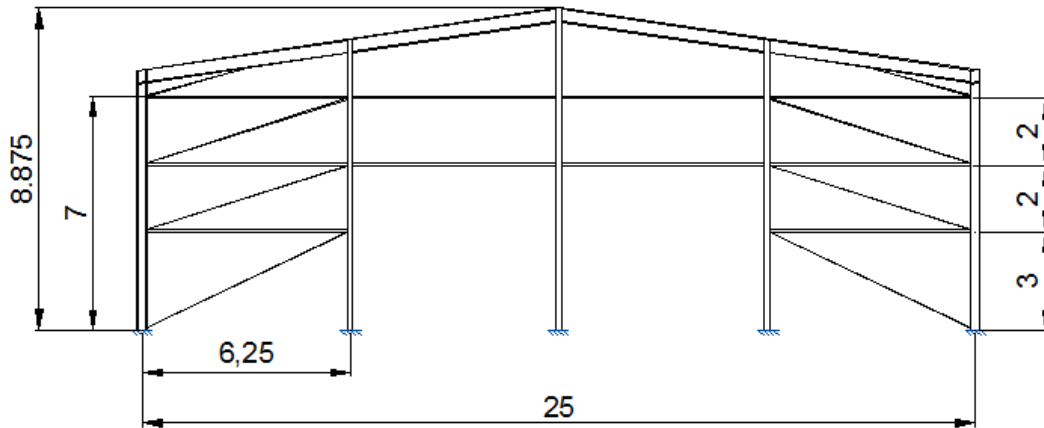


Figura 2.1.60. Alçat de les façanes frontals (vista dels pilars).

Els pilars, a efectes de càlcul, es comporten bàsicament a flexió, ja que no suporten l'esforç axial de les llindes dels pòrtics ni de la coberta, i reben quasi tot el seu esforç del vent. L'esforç axial que suporten els pilars ve donat pel pes propi del tancament de la façana, les corretges i el seu propi pes.

En l'extrem superior dels pilars, la unió s'ha realitzat amb un trau polís. D'aquesta manera, s'aconsegueix que en els pilars de façana no es transmeti el pes de les llindes ni de les sobrecàrregues que han de suportar aquestes, permetent un menor dimensionament dels perfils metàl·lics. També s'ha evitat una interacció entre llinda i pilar, permetent la lliure deformació del pòrtic.

S'ha estudiat el pilar del mig, ja que és el pilar que té la llum màxima, per tant és el cas més desfavorable. La resta de pilars es dimensionen seguint els resultats del pilar estudiat.

2.1.6.1.1. Estudi de les reaccions

L'esforç del vent el transmeten les corretges de façana. Per tant, el pilar nota tres accions puntuals a les unions amb les corretges, que originen unes reaccions en els seus extrems i un moment d'encastament a la seva base. També hi ha una reacció vertical deguda als pesos propis. Això dóna lloc al següent diagrama d'accions reaccions (figura 2.1.61):

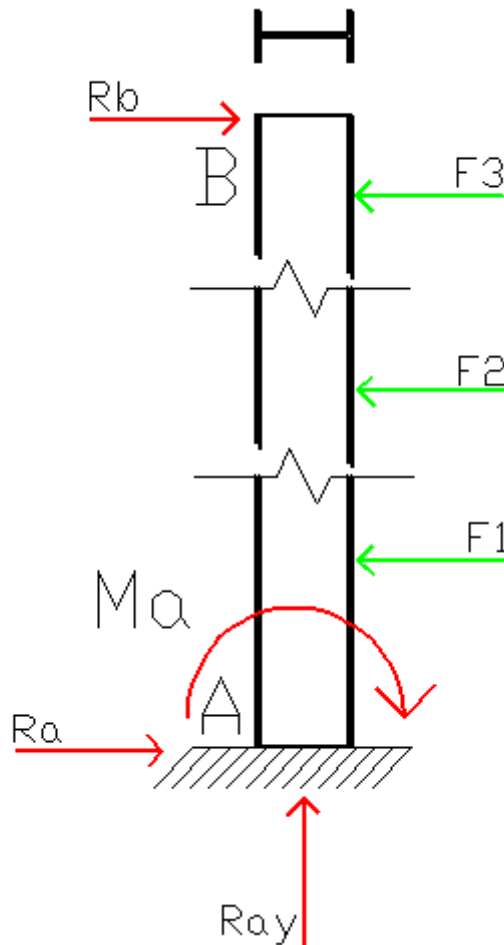


Figura 2.1.61. Esquema de les accions reaccions en els pilars de façanes frontals.

On:

F_1 : força que transmet la primera corretja a 3 m d'alçada.

F_2 : força que transmet la segona corretja a 5 m d'alçada.

F_3 : força que transmet la tercera corretja a 7 m d'alçada.

R_a : reacció a la base del pilar degut a l'esforç del vent.

R_b : reacció a l'extrem superior del pilar.

R_{ay} : reacció a la base del pilar degut a les forces axials.

M_a : moment d'encastament.

S'han estudiat les reaccions que provoquen cada acció per separat per poder dimensionar correctament el pilar. Cal remarcar que a l'hora de dimensionar les corretges de façana, s'ha escollit la força 1, la més gran de les tres, ja que correspon a la corretja de major àrea tributària. Però a l'hora de dimensionar el pilar, com que s'ha estudiat cada força per separat, s'han pres els valors exactes deguts a la llum que abasten.

Degut al moment d'encastament que s'origina, apareixen unes reaccions hiperestàtiques en els extrems encarregades de contrarestar el moment i dotar el pilar d'equilibri estàtic, com s'observa en la figura 2.1.62.

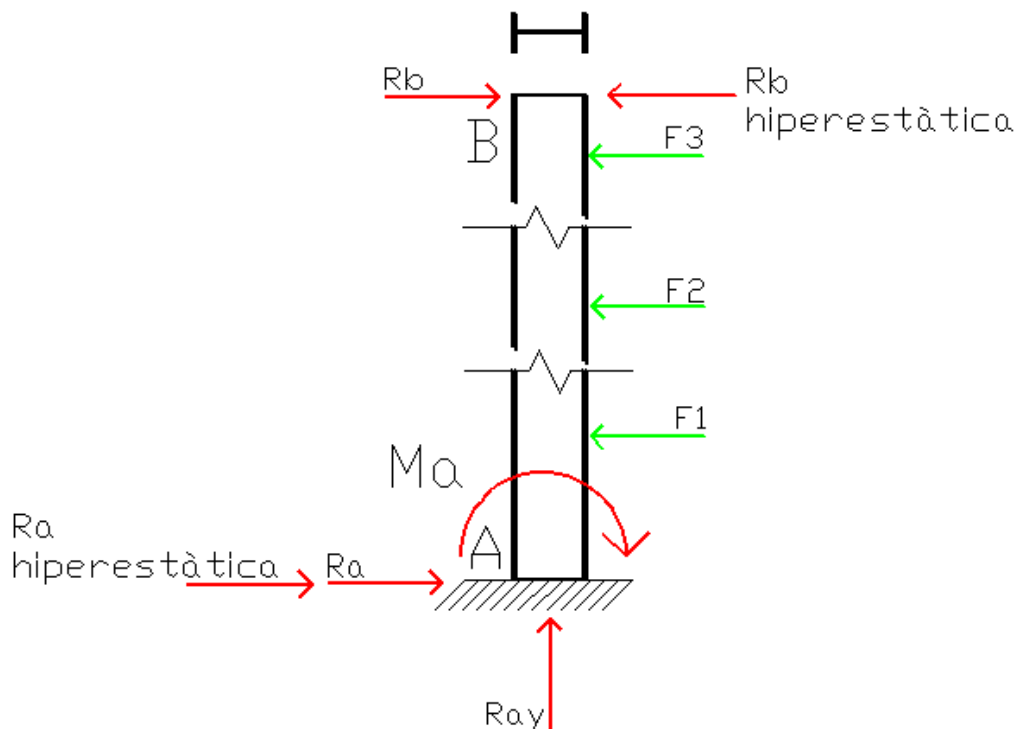


Figura 2.1.62. Esquema de les accions reaccions en els pilars de façanes frontals.

On:

$$F_1 = 136.5 \text{ kg/ml} \cdot 6.25 \text{ m.} = 853.13 \text{ kg. (8.53kN)}$$

$$F_2 = 109.2 \text{ kg/ml} \cdot 6.25 \text{ m.} = 682.5 \text{ kg. (6.83 kN)}$$

$$F_3 = 105.79 \text{ kg/ml} \cdot 6.25 \text{ m.} = 661.19 \text{ kg. (6.61 kN)}$$

Moment d'encastament:

És el sumatori de cada moment d'encastament originat per les seves respectives forces. El moment a l'encastament ve donat per la següent expressió:

$$M = \frac{F \cdot a \cdot b \cdot (l+b)}{2l^2} \quad (\text{Eq. 2.1.25.})$$

On:

l: longitud total del pilar.

b: distància des de la força fins el punt de recolzament, extrem superior del pilar.

a: distància des de la força fins a l'encastament, base del pilar.

Per tant, avaluant l' Eq. 2.1.25

$$M_1 = \frac{8.53 \cdot 3 \cdot 5.875 \cdot (8.875 + 5.875)}{2 \cdot 8.875^2} = 14.08 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

$$M_2 = \frac{6.83 \cdot 3.875 \cdot 5 \cdot (8.875 + 3.875)}{2 \cdot 8.875^2} = 10.7 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

$$M_3 = \frac{6.61 \cdot 7 \cdot 1.875 \cdot (8.875 + 1.875)}{2 \cdot 8.875^2} = 5.92 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

El moment màxim serà:

$$M_a = M_1 + M_2 + M_3 = 30.70 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

Càlcul de les reaccions als extrems del pilar:

Les taules permeten trobar les reaccions totals en els extrems que, de la mateixa manera que en el cas del moment d'encastament, és el sumatori de les

tres reaccions degudes a les seves respectives forces. En aquestes reaccions es tenen en compte les reaccions hiperestàtiques.

$$R_a = \frac{F \cdot b}{2l} \cdot \left(3 - \frac{b^2}{l^2} \right) \quad (\text{Eq. 2.1.26.})$$

$$R_b = \frac{F \cdot a^2}{2l^2} \cdot \left(3 - \frac{a}{l} \right) \quad (\text{Eq. 2.1.27.})$$

On:

b: distància des de la força fins el punt de recolzament, extrem superior del pilar.

a: distància des de la força fins a l'encastament, base del pilar.

Avaluant l' Eq .2.1.26

$$R_{a1} = \frac{8.53 \cdot 5.875}{2 \cdot 8.875} \cdot \left(3 - \frac{5.875^2}{8.875^2} \right) = 7.23 \text{ kN.}$$

$$R_{a2} = \frac{6.82 \cdot 3.875}{2 \cdot 8.875} \cdot \left(3 - \frac{3.875^2}{8.875^2} \right) = 4.18. \text{ kN.}$$

$$R_{a3} = \frac{6.61 \cdot 1.875}{2 \cdot 8.875} \cdot \left(3 - \frac{1.875^2}{8.875^2} \right) = 2.07 \text{ kN.}$$

Avaluant l'Eq. 2.1.27

$$R_{b1} = \frac{8.53 \cdot 3^2}{2 \cdot 8.875^2} \cdot \left(3 - \frac{3}{8.875} \right) = 1.3 \text{ kN.}$$

$$R_{b2} = \frac{6.82 \cdot 5^2}{2 \cdot 8.875^2} \cdot \left(3 - \frac{5}{8.875} \right) = 2.64 \text{ kN}$$

$$R_{b3} = \frac{6.61 \cdot 7^2}{2 \cdot 8.875^2} \cdot \left(3 - \frac{7}{8.875} \right) = 4.55 \text{ kN.}$$

Per tant les reaccions en els extrems seran:

$$R_a = R_{a1} + R_{a2} + R_{a3} = 13.48 \text{ kN.}$$

$$R_b = R_{b1} + R_{b2} + R_{b3} = 8.49 \text{ kN.}$$

Esforç axial:

El pilar aguanta un esforç axial a compressió, fruit del propi pes del tancament de façana (mur cortina) i pes de les corretges, aquest esforç és:

$$R_{ay} = \text{pes mur cortina} \cdot l \cdot \text{llum} + \text{pes corretges} = 40 \cdot 8.875 \cdot 6.25 + 241.88 \text{ kg} = 2460.63 \text{ kg. (24.6 kN)}.$$

El pes de les corretges és l'equivalent al pes per metre lineal d'un IPE 140 (12.96kg/ml), per la longitud que abasta (6.25m) i per el número de fileres (3).

Per tant, les reaccions en el pilar queden definides de la següent manera (figura 2.1.63):

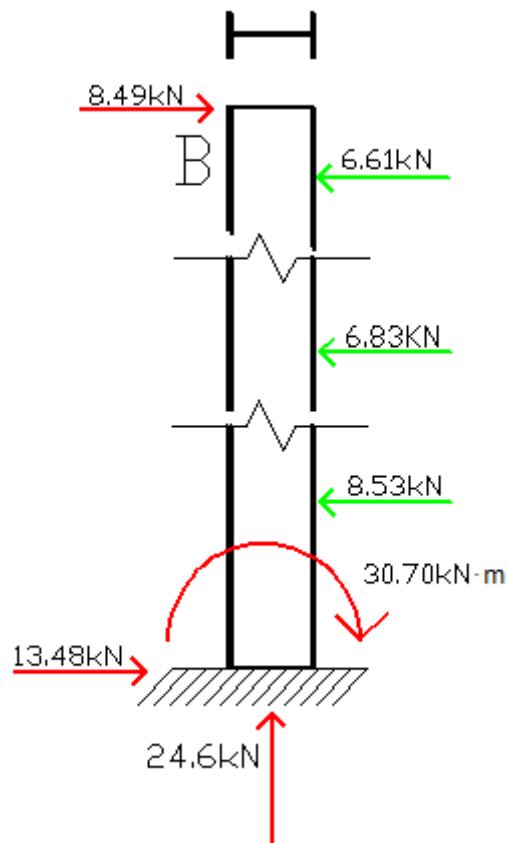


Figura 2.1.63. Esquema de les accions reaccions definitives en els pilars de façanes frontals.

2.1.6.1.2. Dimensionament del pilar

Tenint en compte que l'esforç definitiu a l'hora de dimensionar és el moment flector, s'ha procedit a predimensionar el perfil més òptim en aquestes condicions de càrrega. Per fer-ho, es cerca el mòdul resistent de la secció amb el moment majorat.

$$W = \frac{Ma \cdot 1.5}{\frac{f_y}{\gamma_m}} = \frac{3070000 \cdot 1.5}{\frac{27500}{1.1}} = 184.2 \text{ cm}^3. \quad (\text{Eq. 2.1.28.})$$

Es suposa un pilar HEB 140 ($W = 216 \text{ cm}^3$)

2.1.6.1.3. Comprovació del perfil

Ha de suportar les condicions dels estats límits últims.

La comprovació del perfil s'ha estudiat pel pla perpendicular a la façana, ja que és el que rep l'acció del vent i on per tant s'origina un moment d'encastament.

Com es comprovarà tot seguit, el pilar pateix degut al moment i no als axials que apareixen pels pesos propis. A més, el pilar està arriostrat en el pla del pòrtic tenint una longitud de vinclament màxima de $0.7 \cdot 3 = 2.1 \text{ m}$. Per tot això, es considera que si el pilar compleix en el pla perpendicular, compleix en el l'altre pla.

La comprovació es realitza amb els coeficients de majoració corresponents i tenint en compte el fenomen de vinclament.

2.1.6.1.3.1. Estudi de vinclament

S'ha trobat el coeficient de reducció X que pateix aquest pilar per tenir en compte el mal que provoca el vinclament.

Aquest coeficient s'extreu de les corbes de vinclament en funció de l'esveltesa reduïda (λ). Es denomina esveltesa reduïda a la relació entre la resistència plàstica de la secció de càlcul i la compressió crítica per vinclament.

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad (\text{Eq. 2.1.29.})$$

On:

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{Lk} \right)^2 \cdot E \cdot I = \left(\frac{\pi}{621.25} \right)^2 \cdot 2.1 \cdot 10^8 \cdot 1509 = 8103549 \text{ N.} \quad (\text{Eq. 2.1.30.})$$

Per tant, avaluant l' Eq. 2.1.29. s'obté una esveltesa reduïda:

$$\lambda = \sqrt{\frac{43 \cdot 27500}{N_{cr}}} = 0.38.$$

Aquesta esveltesa reduïda determina la X en funció de les corbes de vinclament, com es pot veure en la figura 2.1.64.

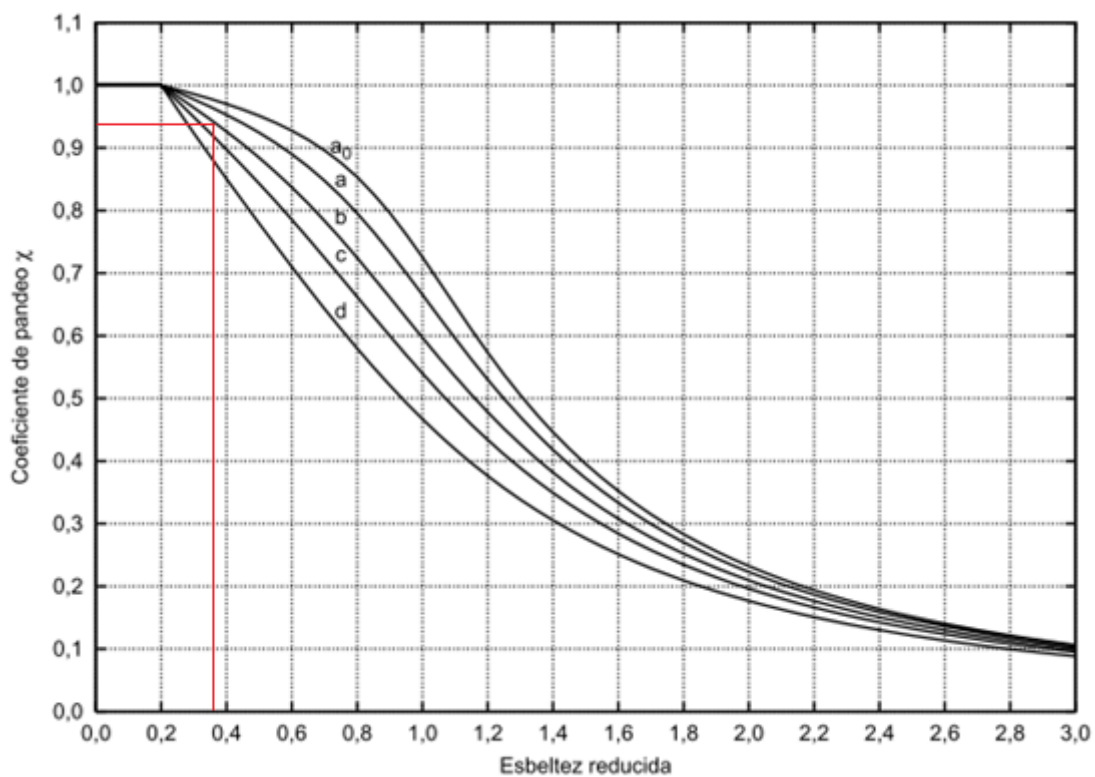


Figura 2.1.64. Corbes de vinclament (font: CT DB-SE).

El valor de X, que s'obté en funció de les corbes, val 0.93 aproximadament.

Per triar el tipus de corba s'ha seguit la següent taula (figura 2.1.65). En aquest cas $\frac{h}{b} \leq 1$, i $t \leq 100$ mm. Per tant, al tractar-se d'un acer S 275 i estant en el pla fort respecte, el vinclament la corba que s'ha utilitzat és la (b).

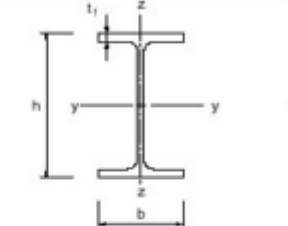
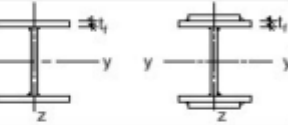

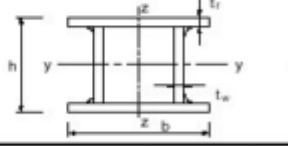


Sección transversal		Límites	Pandeo alrededor del eje	Curva de pandeo	
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Secciones de perfiles laminados		$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a b	a ₀ a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c	a a
		$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d d	e e
Secciones de vigas en I armadas soldadas		$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c
		$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	c d
Secciones de perfiles huecos		Acabados en caliente	cualquiera	a	a ₀
		Conformados en frío	cualquiera	c	c
Secciones de vigas en cajón armadas soldadas		En general (excepto caso recuadro inferior)	cualquiera	b	b
		Soldadura onerosa $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	cualquiera	c	c
Secciones de perfiles en U, en T y macizas			cualquiera	c	c
Secciones de perfiles angulares			cualquiera	b	b

Figura 2.1.65. Taula de criteris per escollir les corbes de vinclament (font: CT DB-SE).

2.1.6.1.3.2. Comprovació a flexió i a compressió axial

Segons la normativa que dicta el CT DB-SE, el perfil ha de complir:

$$\frac{N_{ed}}{X_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \frac{C_{m,y} \cdot M_{yEd} + e N_y \cdot N_{ed}}{X_{lt} \cdot W_y \cdot f_{yd}} \leq 1. \quad (\text{Eq.2.1.31. font: CTDB-SE})$$

Per l'esforç axial també s'ha introduït el propi pes del pilar (33.7 kg/ml·8.875 = 299kg)

On:

$$K_y (\text{classe 3}) = 1 + 0.6 \cdot \lambda_y \cdot \frac{N_{ed}}{X \cdot A \cdot f_{y,d}} \quad (\text{Eq.2.1.32 font: CTDB-SE.})$$

Avaluant l' Eq. 2.1.32.

$$K_y = 1 + 0.6 \cdot 0.38 \cdot \frac{27590}{0.93 \cdot 43 \cdot \frac{27500}{1.1}} = 1.006$$

$C_{m,y}$: en funció del diagrama de moments i un paràmetre α .

Diagrama de moments:

Per extreure el diagrama de moments del pilar, s'ha superposat el diagrama que crea el moment en l'encastament i els tres diagrames de cada una de les càrregues puntuals (figura 2.1.66).

Moment força puntual

$$M = \frac{P \cdot a \cdot b}{l} \quad (\text{Eq. 2.1.32.})$$

$$M_1 = \frac{8.53 \cdot 3 \cdot 5.875}{8.875} = 16.94 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

$$M_2 = \frac{6.83 \cdot 5 \cdot 3.875}{8.875} = 14.91 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

$$M_3 = \frac{6.61 \cdot 7 \cdot 1.875}{8.875} = 9.76 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

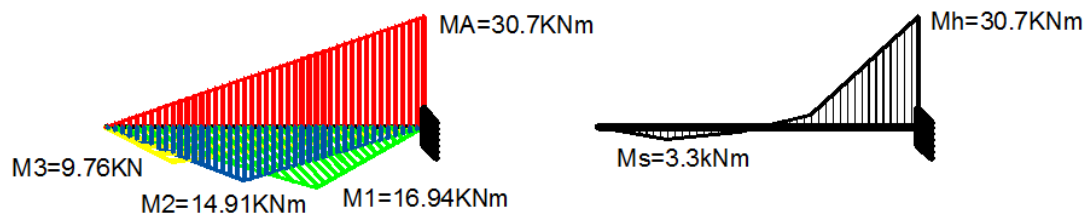


Figura 2.1.66. Superposició dels diagrames de moments creats per cada acció (esquerra), diagrama de moments del pilar (dreta).

El paràmetre α va en funció dels moments màxims:

$$\alpha = \frac{Ms}{Mh} = \frac{3.3}{30.7} = 0.107.$$

La forma del diagrama de moments marca quin tipus de criteri s'ha de seguir. En aquest cas, s'ha seguit el criteri degut a moments formats per forces laterals un moment d'encastament (figura 2.1. 67).

On:

$$C_{m,y} = 0.2 + 0.8 \cdot \alpha \geq 0.4 \quad \text{si } 0 \leq \alpha \leq 1. \quad (\text{Eq. 2.1.33.})$$

Tabla 6.10 Coeficientes del momento equivalente		
Factor de momento flector	Eje de flexión	Puntos arriostrados en dirección
$C_{m,y}$	y-y	z-z
$C_{m,z}$	z-z	y-y
$C_{m,LT}$	y-y	y-y
Diagrama de Flectores	Factor de momento uniforme equivalente	
	$C_{m,i} = C_{m,j} \quad (i=y)$ $C_{m,i} = C_{m,j} \quad (i=z)$ $C_{m,LT} = C_{m,j} \quad (i=LT)$	
Momentos de extremo $-1 \leq \psi \leq 1$		
		$C_{m,i} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$
Momento debido a cargas laterales coplanarias		
		$C_{m,i} = 0,9$
		$C_{m,i} = 0,95$
Momentos debidos a cargas laterales y momentos de extremos		
		$C_{m,i} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4 \quad \text{si } -1 \leq \alpha \leq 0$
		$C_{m,i} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4 \quad \text{si } 0 \leq \alpha \leq 1$
		$C_{m,i} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \quad \text{con } -1 \leq \alpha_h \leq 1$

Figura 2.1.67. Taula dels criteris a seguir per trobar $c_{m,y}$ en funció del diagrama de moments (font: CT DB-SE).

Avaluant l' Eq. 6.10 s'obté:

$$C_{m,y} = 0.2 + 0.8 \cdot \alpha = 0.2859 < 0.4 \text{ (no és vàlid)}$$

Per tant, s'adopta un valor de $C_{m,y} = 0.4$.

Substituint els valors en l' Eq 2.1.31. s'obté:

$$\frac{N_{sd}}{X_y \cdot A \cdot f_{y,d}} + k_y \frac{C_{m,y} \cdot M_{sd}}{W_{y,d} \cdot f_{y,d}} = \frac{27590 \cdot 1.35}{0.93 \cdot 43 \cdot \frac{27500}{1.05}} + 1.006 \cdot \frac{0.4 \cdot 3070000 \cdot 1.5}{216 \cdot \frac{27500}{1.1}} = 0.036 + 0.34 = 0.376 \leq 1$$

Per tant, el IPE 140 és un perfil vàlid.

2.1.6.1.3.3. Comprovació de la fletxa

Per realitzar la comprovació de la fletxa, s'ha utilitzat el software de càlcul CYPE 2011, obtenint la fletxa directament del programa (figura 2.1.68).

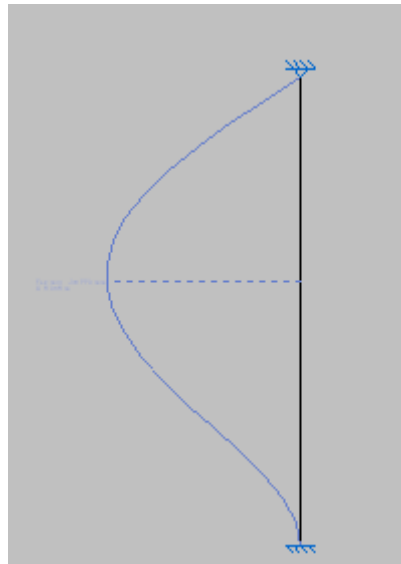


Figura 2.1.68. Diagrama de la fletxa en el pilar de façana.

La fletxa màxima equival a 36.77 mm. (3.67 cm).

$$\text{comprovem: } \frac{L}{300} = \frac{887.5}{300} = 2.958 > 3.53$$

El perfil no compleix el requisit de fletxa mínima. Per tant, s'augmenta el pilar a un HEB 160 que dóna lloc a una fletxa de 2.22 cm acceptable.

Nota: no es tornen a realitzar les comprovacions ja que al augmentar el perfil, complirà els requisits anteriors.

2.1.7. Arriostrament de la nau

La nau s'ha d'arriostrar en el pla longitudinal dotant-la de monolitisme en aquesta direcció, evitant així que els pòrtics es puguin plegar a causa de l'efecte del vent.

Això s'aconsegueix mitjançant creus de Sant Andreu, tant en façana com en coberta, encarregades de travar els mòduls de façana i un central, lligant així tots els pòrtics entre ells. Les creus de Sant Andreu tenen la peculiaritat de que, vingui d'on vingui el vent, una de les dues barres sempre treballa a tracció.

Els perfils seleccionats per les creus han estat rodons amb tensors.

Es transmet l'esforç a les creus mitjançant uns perfils tubulars. També s'han col·locat perfils tubulars als extrems superiors dels pilars dels pòrtics, afectes de lligar-los entre ells.

2.1.7.1. Creus de Sant Andreu.

S'han col·locat creus de Sant Andreu en els mòduls formats pels pòrtics de façana i els seus adjunts així com en el mòdul format pels pòrtics 5 i 6 coincidint amb la façana posterior de la nau secundària (figura 2.1.69).

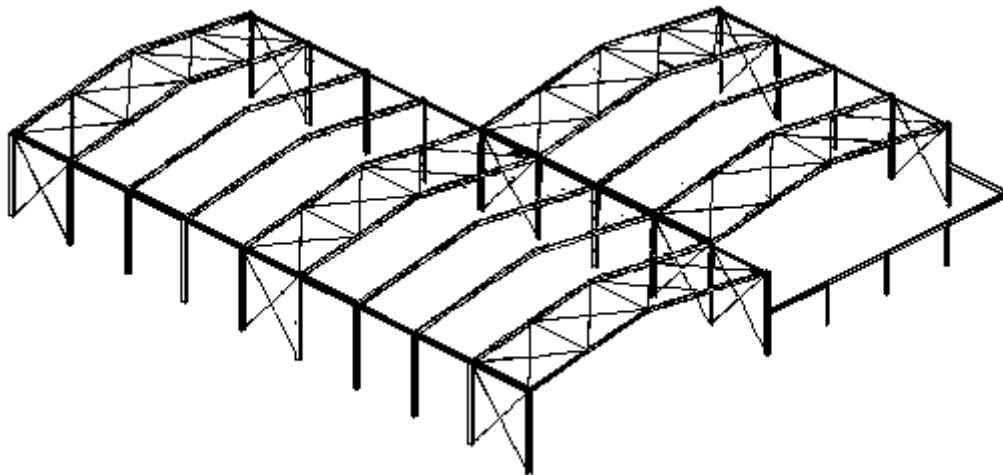


Figura 2.1.69. Vista en perspectiva d'on es situaran les creus de Sant Andreu.

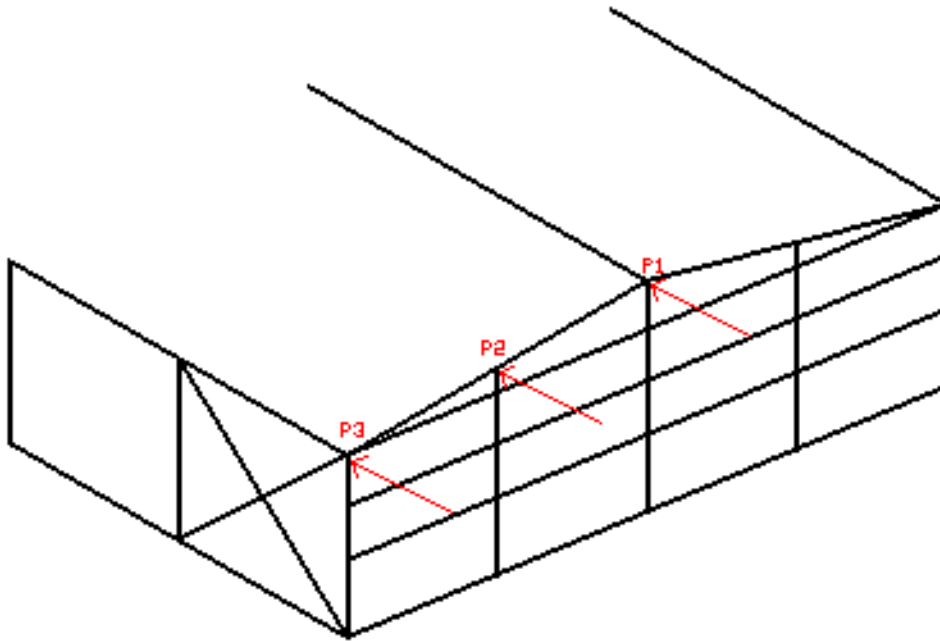
2.1.7.1.1. Creus de Sant Andreu de façanes laterals.

Figura 2.1.70. Vista amb perspectiva de les càrregues que hauran de suportar els cordons amb tensors de les façanes laterals.

Els rodons amb tensors han de suportar l'acció deguda al vent en façana tal com es mostra a la figura 2.1.70 . Aquesta càrrega P total equival a:

$$P_{\text{total}} = \frac{P_1}{2} + P_2 + P_3 = \frac{8.49}{2} + 8.49 + 5.97 = 18.7 \text{ kN}.$$

On:

P_1 : càrrega que rep el pilar del mig de façana a l'extrem de dalt, (R_b)

P_2 : càrrega que rep el primer pilar de façana a l'extrem de dalt, (R_b)

P_3 : la meitat de la càrrega que rep el pilar del pòrtic, $P_3 = \frac{l}{2} \cdot l_{\text{lum}} \cdot P_e = 3.5 \cdot 3.125 \cdot 54.6 = 597.19 \text{ kg. (5.97kN)}$.

On:

$P_e = q_b \cdot c_p \cdot c_e$ (vent que incideix sobre la façana). (Eq. 2.1.34.)

Això dóna lloc al següent polígon de forces tancat, d'on es troba la força que han de suportar els rodons amb tensors (figura 2.1.71).

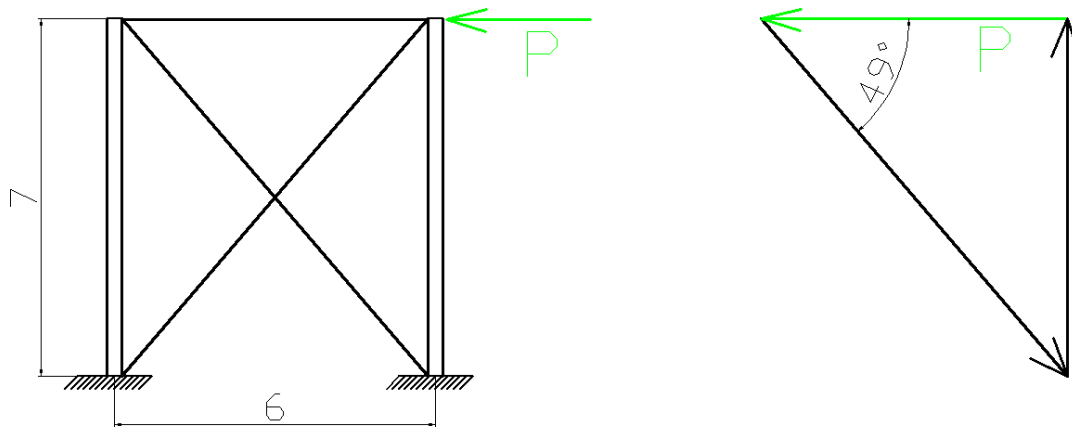


Figura 2.1.71. Alçat d'una creu de Sant Andreu de façana lateral (esquerra), polígon de forces tancat degut a l'acció P (dreta).

$$F = \frac{P}{\cos \alpha} = \frac{18.7}{\cos 49} = 28.5 \text{ kN.} \quad (\text{Eq. 2.1.35.})$$

Aquest és l'esforç a tracció que ha de suportar el rodó, el qual marca l'àrea resistent necessària per fer-ne un correcte dimensionament aplicant el factor corrector degut a la tracció simple.

$$A = \frac{F \cdot 1.5}{f_{y,d}} = 1.71 \text{ cm}^2. \quad (\text{Eq. 2.1.36.})$$

L'àrea resistent necessària que ha de tenir el rodó, segons la taula de la figura 2.1.72 és T-20 amb una àrea resistent de 2.75 cm² segons la taula.

TORNILLO TIPO	VASTAGO			Ø del agujero d _a (mm)	Area neta del núcleo (F _n) cm ²	Area resistente (F _r) cm ²
	d (mm)	d _i (mm)	b (mm)			
T-10	10	8,16	17,5	11	0,523	0,58
T-12	12	9,853	19,5	13	0,762	0,743
T-16	16	13,546	23	17	1,44	1,570
T-20	20	16,933	25	21	2,25	2,75
(T-22)	22	18,933	28	23	2,82	3,03
T-24	24	20,319	29,5	25	3,24	3,53
(T-27)	27	23,319	32,5	28	4,27	4,56
T-30	30	25,706	35	31	5,19	5,61
(T-33)	33	28,706	38	34	6,47	6,94
T-36	36	31,093	40	37	7,59	8,17

Figura 2.1.72. Taula de la relació entre cargols i la seva àrea eficaç.

2.1.7.1.2. Creus de Sant Andreu amb façanes de coberta

Es col·locaran rodons amb tensors exactament als mateixos pòrtics on es col·locaran els de façana lateral seguint la següent distribució (figura 2.1.73.):

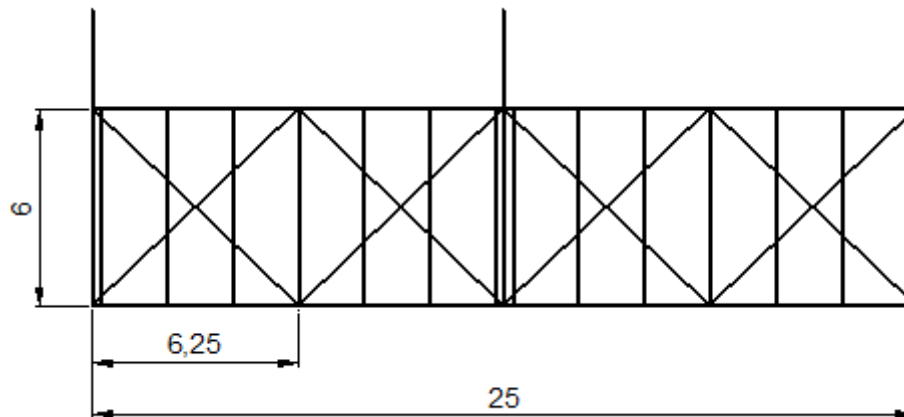


Figura 2.1.73. Planta de la distribució de creus de Sant Andreu en coberta.

Els cordons de coberta han de suportar l'esforç de les reaccions en els extrems superiors dels pilars de façana tal com indica la figura 2.1.74..

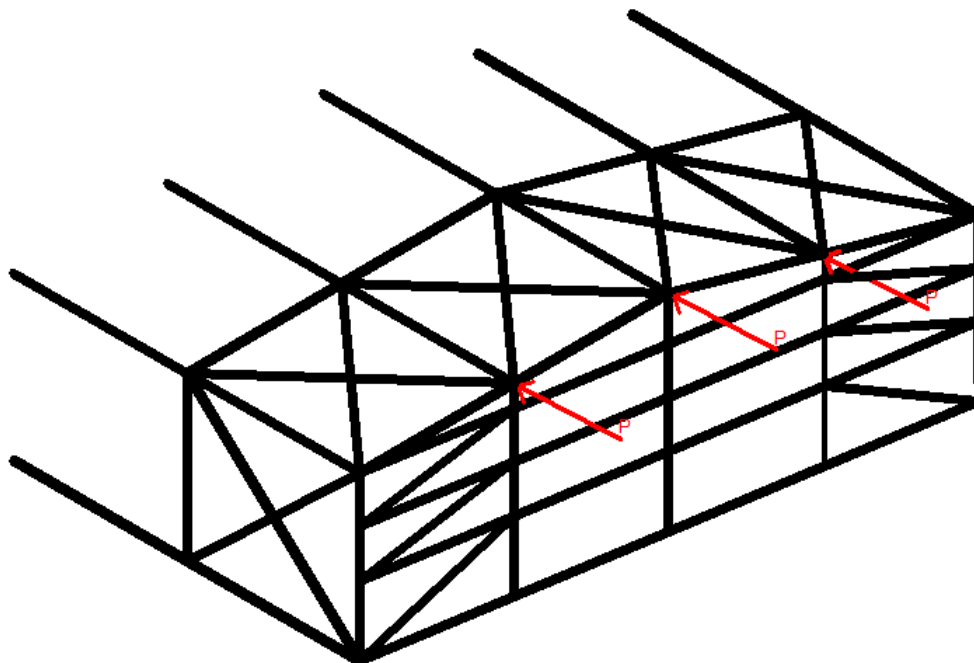


Figura 2.1.74. Vista en perspectiva de les càrregues que suportaran els cordons amb tensors de coberta.

Com s'ha explicat anteriorment la peculiaritat de les creus de Sant Andreu és que només treballa a tracció una de les seves diagonals. S'estudia l'entramat com si d'una biga en gelosia es tractés per saber quins són els cordons que treballen a tracció i quins elements treballen a compressió (figura 2.1.75).

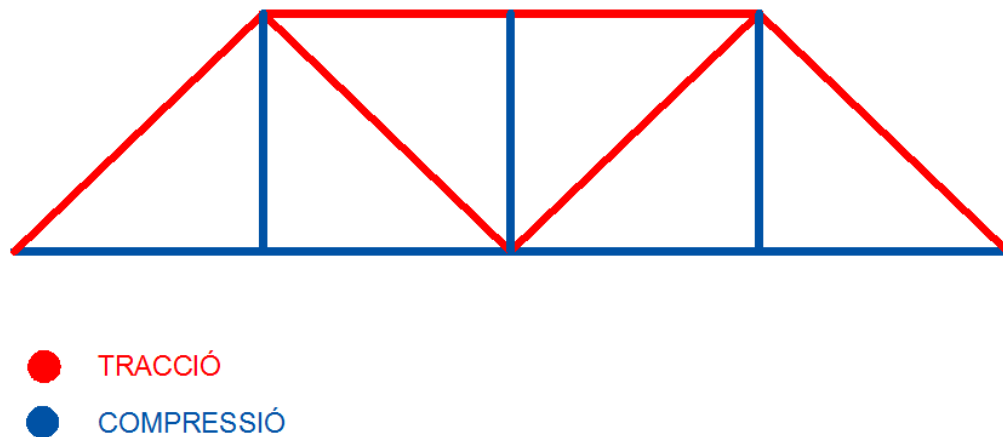


Figura 2.1.75. Dibuix de quins rodons treballen a tracció i quins a compressió.

De l'estudi dels esforços axils en les barres d'aquesta biga en gelosia es comprova que el màxim esforç correspon a les diagonals dels extrems.

Les accions contra aquesta biga en gelosia provenen de les reaccions en els extrems superiors dels 3 pilars de la façana frontal (R_b). Per tant la màxima sol·licitació és el sumatori de la meitat de la reacció del pilar central i la totalitat del pilar del extrem.

Per tant:

$$P = R_b + \frac{R_b}{2} = 12.74 \text{ kN.} \quad (\text{Eq. 2.1.37.})$$

On:

$$R_b = 8.49 \text{ kN.}$$

Amb el polígon tancat de forces s'obté el valor de F (figura 2.1.76.):

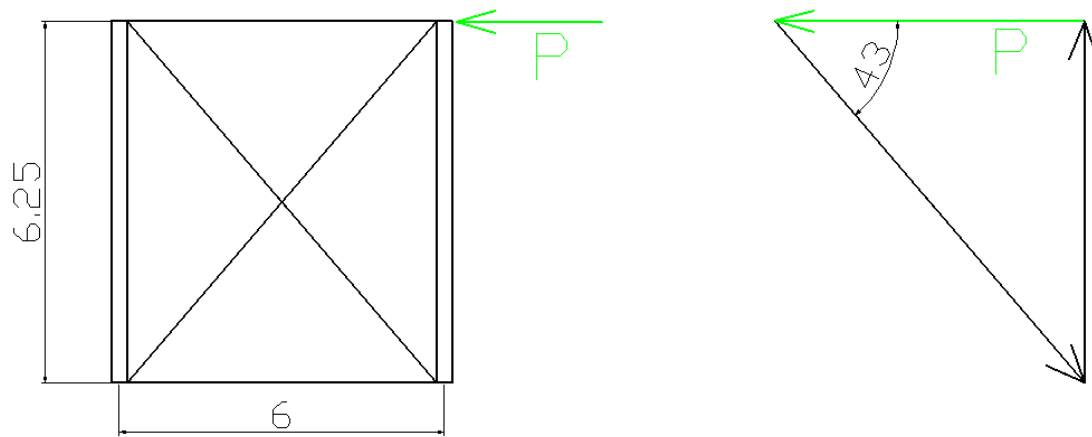


Figura 2.1.76. Alçat d'una creu de Sant Andreu de coberta (esquerra), polígon de forces tancat degut a l'acció P (dreta)

$$F = \frac{P}{\cos 43} = 17.05 \text{ kN.} \quad (\text{Eq. 2.1.38.})$$

Aquest és l'esforç a tracció que ha de suportar el rodó, el qual ens marca l'àrea resistent necessària per fer-ne un correcte dimensionament.

$$A = \frac{F \cdot 1.5}{f_{y,d}} = 1.02 \text{ cm}^2. \quad (\text{Eq. 2.1.39.})$$

Per tant s'han adoptat uns cordons amb una àrea efectiva de 1.57 cm², que donen lloc a uns cargols T-16 segons la taula 2.1.77.

TORNILLO TIPO	VASTAGO			Ø del agujero d _a (mm)	Area neta del núcleo (F _n) cm ²	Area resistente (F _r) cm ²
	d (mm)	d _i (mm)	b (mm)			
T-10	10	8,16	17,5	11	0,523	0,58
T-12	12	9,853	19,5	13	0,762	0,743
T-16	16	13,546	23	17	1,44	1,570
T-20	20	16,933	25	21	2,25	2,75
(T-22)	22	18,933	28	23	2,82	3,03
T-24	24	20,319	29,5	25	3,24	3,53
(T-27)	27	23,319	32,5	28	4,27	4,56
T-30	30	25,706	35	31	5,19	5,61
(T-33)	33	28,706	38	34	6,47	6,94
T-36	36	31,093	40	37	7,59	8,17

Figura 2.1.77. Taula de la relació entre cargols i la seva àrea eficaç.

Per tal d'arriostrar la façana en el seu pla transversal, es col·loquen uns rodons amb tensors igual que en les creus de Sant Andreu. Aquests rodons doten la façana de més rigidesa en el pla transversal. S'han distribuït els rodons seguint la següent distribució (figura 2.1.78):

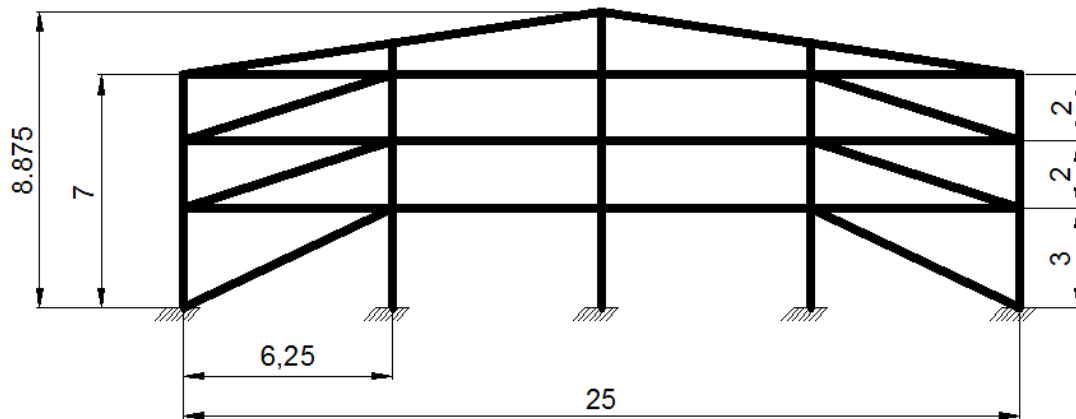


Figura 2.1.78. Alçat de les façanes frontals.

2.1.7.2. Perfil d'unió tubulars

2.1.7.2.1. Perfils de unió dels caps dels pilars

Aquests perfils es situen als extrems superiors dels pilars dels pòrtics unint-los entre ells i donant-li estabilitat a l'estructura en la direcció longitudinal de la nau.

Aquests perfils tubulars, han de suportar un esforç axil a compressió degut a la força del vent en façana frontal. Aquest esforç equival a una pressió de $P = 18.7 \text{ kN}$, corresponent al vent en façana i que s'ha trobat anteriorment en l'apartat del càlcul de les creus de Sant Andreu de façanes laterals, apartat 2.1.7.1.1.

Aquest esforç necessita una àrea efectiva:

$$A = \frac{P \cdot 1.5}{f_{y,d}} = 1.12 \text{ cm}^2. \quad (\text{Eq. 2.1.40.})$$

S'ha considerat que la millor opció per aquesta funció és un perfil tubular quadrat, això és degut a que aquests perfils no pateixen cap moment i tot el seu esforç és axial. Aquest perfil tubular ofereix una major resistència al

vinclament, en contra d'un perfil HEB que té un dels dos plans més dèbil al fenomen del vinclament.

Es proposa un perfil tubular de 50-50-5. S'ha adoptat un valor de gruix elevat per poder realitzar posteriors soldadures amb més facilitat en les unions.

Per dimensionar el perfil es té en compte que el coeficient X degut al vinclament.

2.1.7.2.1.1. Estudi del perfil a vinclament

El coeficient X ve donat en funció de l'esveltesa reduïda i les corbes de vinclament.

Esveltesa reduïda:

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = 1.2 \quad (\text{Eq. 2.1.41.})$$

On:

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k} \right)^2 \cdot E \cdot I = 155446 \text{ N} \quad (\text{Eq. 2.1.42.})$$

Avaluant l' Eq 2.1.41. s'obté una esveltesa reduïda:

$$\lambda = 1.2.$$

La Corba de vinclament corresponent en aquest cas és la corba a, ja que es tracta d'un perfil tubular quadrat (figura 2.1.79).

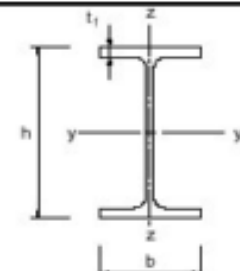
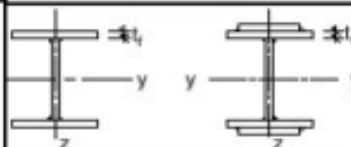

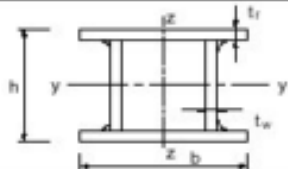
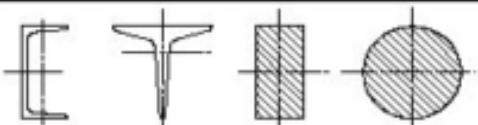
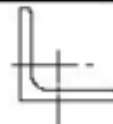
Sección transversal		Limites	Pandeo alrededor del eje	Corba de pandeo	
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Secciones de perfiles laminados		$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a b	a ₀ a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c	a a
		$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d d	c c
Secciones de vigas en I armadas soldadas		$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c
		$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	c d
Secciones de perfiles huecos		Acabados en caliente	cualquiera	a	a ₀
		Conformados en frío	cualquiera	c	c
Secciones de vigas en cajón armadas soldadas		En general (excepto caso recuadro inferior)	cualquiera	b	b
		Soldadura oncosá $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	cualquiera	c	c
Secciones de perfiles en U, en T y macizas			cualquiera	c	c
Secciones de perfiles angulares			cualquiera	b	b

Figura 2.1.79. Taula de selecció de la corba de vinclament en funció del tipus de perfil i material.

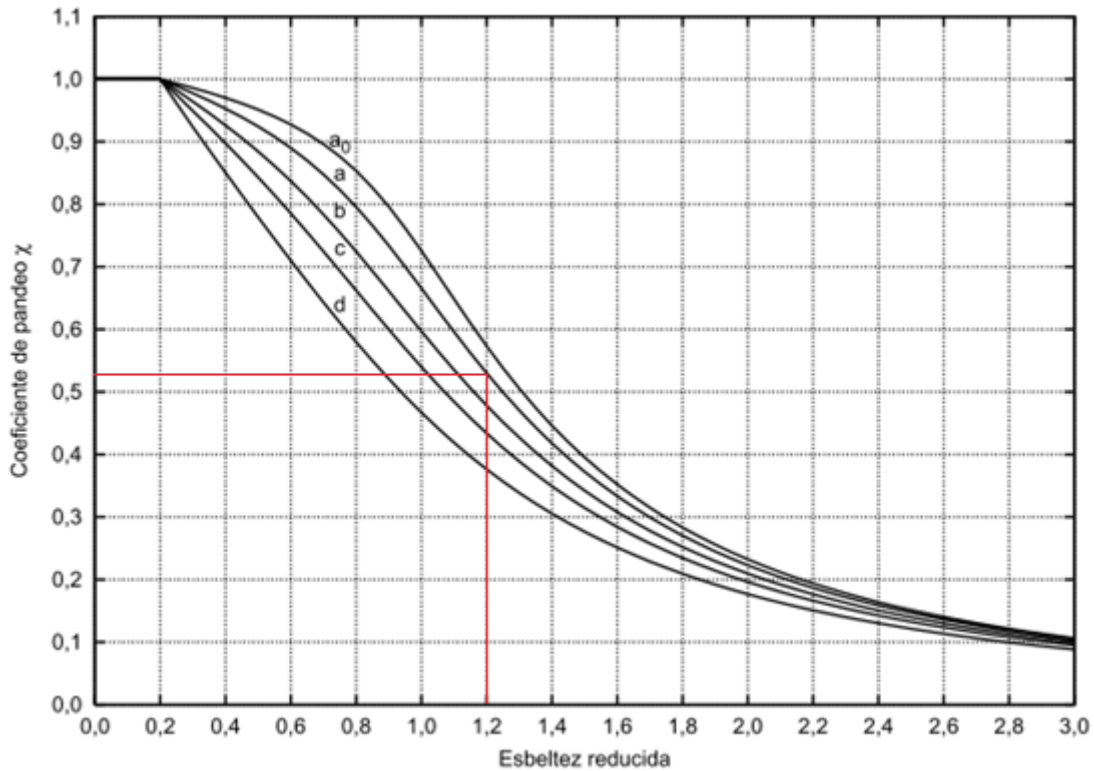


Figura 2.1.80. Corbes de vinclament per trobar el valor de reducció X.

Per tant el valor de reducció X en funció de la figura 2.1.80 val: 0.53.

2.1.7.2.1.2. Comprovació del perfil

L'axil màxim que ha de suportar aquest perfil val:

$$N = X \cdot A \cdot \frac{F_y}{\gamma_m} \quad (\text{Eq. 2.1.43.})$$

Avaluant l' Eq. 2.1.43

$$N = 0.53 \cdot 8.36 \cdot f_{y,d} = 110770 \text{ N (170 kN.)}$$

Aquest valor és molt superior als 28.05 kN que necessita suportar, però per raons estructurals interessa un tub amb aquestes dimensions.

2.1.7.2.2. Perfils de transmissió d'esforços

Per donar estabilitat i transmetre els esforços a les creus, es col·loquen perfils tubulars quadrats als extrems de cada creu unint-les entre elles, així s'aconsegueix que les creus compleixin la seva funció de treballar a tracció.

Aquests perfils han de suportar una càrrega $P = 8.49 \text{ kN}$. Aquest esforç és inferior que el que han de suportar els tubs d'unió dels extrems superiors dels pilars, per tant s'adopta com a perfil vàlid el calculat a l'apartat anterior.

S'agafarà un perfil tubular de 50·50·5.

2.1.8. Comprovació de les unions

2.1.8.1. Càlcul i dimensionat dels suports dels pilars

Per a la unió entre els pilars metàl·lics i les sabates de formigó armat cald disposar d'una placa d'ancoratge per connectar-los en una unió rígida, aquesta placa reparteix en una superfície més gran els esforços transmesos per la secció del pilar a la fonamentació. Aquesta unió s'efectua soldant el perfil a una placa metàl·lica que va unida a la sabata mitjançant un morter d'anivellació i uns pernns d'ancoratge, que absorbeixen les possibles traccions ocasionades pel pilar.

Un cop dimensionats els elements, s'han de fer tres comprovacions: la resistència de la placa d'ancoratge, la resistència del formigó emprat en les sabates i la resistència dels pernns.

Es comprova la placa base obtinguda mitjançant el programa informàtic CYPE 2011. Per la resta de pilars s'ha comprovat mitjançant el software informàtic.

La comprovació de la unió s'ha fet mitjançant el mètode proposat per l'Eurocodi 3 a l'apartat d'unions EN 1993 1-8. És necessari comprovar que es resisteixen de forma segura les diferents combinacions d'esforç axial, esforç tallant i moment que es puguin produir.

Per això cal:

- Determinar la resistència dels cargols.
- Comprovar la resistència de la unió a l'esforç axial i moments combinats.
- Comprovar la resistència a esforç tallant de la unió.

Aquesta unió suporta uns esforços màxims de:

- Moment de 259 kN·m
- Axial de 350 kN
- Tallant de 87 kN

2.1.8.1.1. Resistència dels cargols d'ancoratge

La resistència a tracció d'un pern d'ancoratge $F_{t, \text{ancord}, Rd}$ M32 8, és la menor entre la resistència d'adherència de l'ancoratge i la resistència de càlcul de la secció.

Resistència d'adherència de l'ancoratge per cargols Ø 32.

$$F_{t, \text{bond}, Rd} = \frac{\frac{(132 - \emptyset)}{100}}{2.25} \cdot (\pi \cdot \emptyset \cdot l_b \cdot f_{bd}) \quad (\text{Eq 2.1.44 font : CT DB-SE})$$

On:

L_{bd} : és la longitud d'ancoratge mínima. Per una barra de Ø32mm, equival a 480 mm (figura 2.1.81), en el cas ha estudiar la solució adoptada pel CYPE 2011 és de 550 mm.

f_{ck} [MPa]	12	16	20	25	30	35	40	45	50
Barras lisas	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
Barras de alta adherencia para $\phi \leq 32$ mm	1,9	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,3

Figura 2.1.81. Valors de càlcul de la tensió d'adherència f_{bd} en MPa.

Avaluant l' Eq 2.1.44. s'obté que la resistència d'adherència de l'ancoratge val:

$$F_{t, \text{bond}, Rd} = 120.6 \text{ kN.}$$

Resistència de càlcul de la secció del cargol d'ancoratge a tracció:

$$F_{v,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (\text{Eq 2.1.45 font : CT DB-SE})$$

Avaluant l' Eq 2.1.45 s'obté que la resistència de càlcul de la secció del cargol d'ancoratge a tracció val:

$$F_{v,Rd} = 463.1 \text{ kN}$$

Per tant la resistència d'un únic cargol d'ancoratge és:

$$F_{t,ancord,Rd} = \min (F_{t,bond,Rd} ; F_{v,Rd}) = 120.6 \text{ kN}.$$

2.1.8.1.2. Comprovació de la resistència de la unió a l'esforç axial i moment combinats**Determinació de la resistència de compressió axial:**

Les dimensions utilitzades per aquest càlcul són les següents:

Dimensions placa base:

$$t_p: 25 \text{ mm}$$

$$b_p: 650 \text{ mm}$$

$$h_p: 650 \text{ mm}$$

Dimensions del pilar:

$$h_p: 300 \text{ mm}$$

$$b_p: 300 \text{ mm}$$

$$e_p: 11 \text{ mm}$$

$$e_1: 19 \text{ mm}$$

Dimensions de la sabata:

h: 700 mm

b: 2250 mm

a: 4000 mm

Primer es calcula la resistència de càlcul de la superfície de recolzament:

$$f_{jd} = \beta_j \cdot \alpha_j \cdot f_{cd} \quad (\text{Eq 2.1.45 font : CT DB-SE})$$

On:

α és el mínim de:

$$1 + \frac{df}{\max hp, bp} = 1 + \frac{700}{650} = 2.08 \quad (\text{Eq 2.1.46})$$

$$1 + 2 \frac{eh}{hp} = 1 + 2 \frac{1831}{650} = 6.63 \quad (\text{Eq 2.1.47})$$

$$e_h = (h_f - h_p - 2 \cdot e_1)/2 = (4000 - 300 - 38) = 1831$$

$$1 + 2 \frac{eh}{bp} = 3.94 \quad (\text{Eq 2.1.48})$$

$$b_p = (b - b_p - 2e_1)/2 = (2250 - 300 - 38) = 956$$

Per tant α val 2.08.

Avaluant l'Eq 45 s'obté:

$$f_{jd} = \beta_j \cdot \alpha_j \cdot f_{cd} = \frac{2}{3} \cdot 2.08 \cdot \frac{25}{1.5} = 23.11 \text{ N/mm}^2$$

Es considera que només una part de la placa treballa a compressió, per tant, cal calcular l'àrea eficaç de la placa (àrea del casquet equivalent). L'àrea eficaç

estarà formada per la regió de placa limitada per segments de recta paral·lels a les cares del perfil que forma la secció d'arrancada del suport, a una màxima distància c que es defineix a continuació.

$$c = e \sqrt{\frac{fyd}{3fjd}} = 19 \cdot \sqrt{\frac{250}{3 \cdot 23.11}} = 36 \text{ mm.} \quad (\text{Eq 2.1.49})$$

Seguidament es determina la resistència de compressió de la placa base:

$$N_{j,Rd} = 2 \cdot F_{fc,Rd} + F_{wc,Rd} = f_{jd} \cdot (2 \cdot (b_p + 2 \cdot c) \cdot (2 \cdot c + e_1) + (h_p - 2 \cdot c - 2 \cdot e_p) \cdot (2 \cdot c + e_p))$$

$$N_{j,Rd} = 23.11 \cdot (2 \cdot (300 + 72) \cdot (72 + 19) + (300 - 72 - 11) \cdot (72 + 11)) = 1582 \text{ kN.}$$

(Eq 2.1.50)

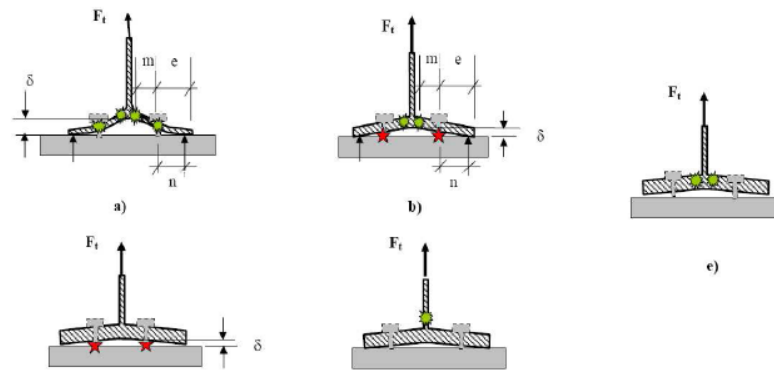
L'axial màxim en els pòrtics equival a 373 kN, per tant es comprova que:

$$1582 \text{ kN} > 350 \text{ kN.}$$

Determinar la resistència a tracció per càrrega axial:

S'obté la resistència a la tracció de les files de cargols d'ancoratge als dos costats de la unió.

Hi ha quatre maneres diferents de ruptura del casquet equivalent segons la figura 2.1.81. i una cinquena ruptura del casquet especial.



Leyenda:

- a) Mecanismo totalmente plástico (Modo de agotamiento 1),
- b) Mecanismo parcialmente plástico con agotamiento de tornillo de anclaje (Modo de agotamiento 2),
- c) Agotamiento de tornillo de anclaje (Modo de agotamiento 3),
- d) Fluencia del alma a tracción (Modo de agotamiento 4),
- e) Agotamiento por fluencia a la flexión del ala en conjunción con la separación de la placa base de la cimentación debido al alargamiento del tornillo de anclaje (la fuerza de palanca se vuelve nula). Sustituye a los Modos de agotamiento 1 y 2

Figura 2.1.81. Modes d'esgotament possibles. Font web Access Steel.

Verificació del mode d'esgotament especial.

La longitud efectiva del casquet es calcula de la següent manera:

$$L_{\text{eff,nc}} = \min ((0.5 \cdot b_p); (4 \cdot m + 1.25 \cdot e_x); (e + 2 \cdot m + 0.625 \cdot e); (0.5 \cdot \omega + 2 \cdot m + 0.625 \cdot e)).$$

(Eq 2.1.51)

On:

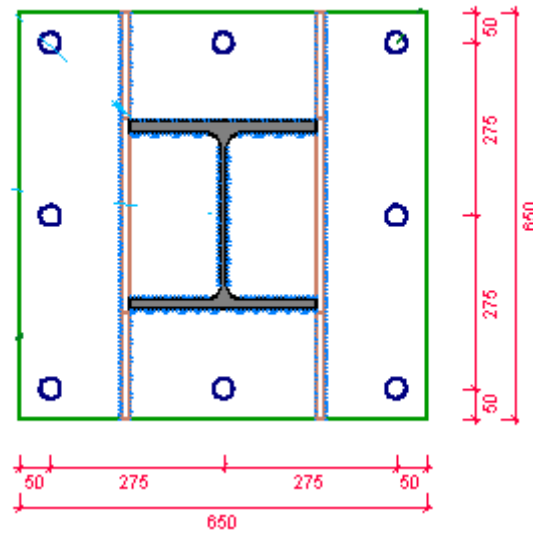


Figura 2.1.82. dibuix de la placa base.

b_p : 650 mm.

m : 275 mm.

e_x : 50 mm.

ω : 550 mm.

Per tant avaluant l' Eq 2.1.51. s'obté:

$$L_{eff,nc} = \min (325 ; 1265 ; 631.25 ; 805.25), \text{ per tant equival a } 325.$$

El mode d'esgotament especial és possible només si:

$$L_b < l_b = \frac{8.8 \cdot A_s}{L_{eff,nc}} \cdot \frac{m}{tp} = 239.47. \quad (\text{Eq 2.1. 52})$$

Per tant, es compleix la verificació ja que $L_b > l_b = 550\text{mm} > 239.47\text{mm}$.

Resistència del casquet equivalent en T a tracció:

La resistència de càlcul d'una fila de cargols, $F_{t,Rd}$, és la mínima per els 4 modes d'esgotament indicats anteriorment en funció de la resistència a flexió de ròtula plàstica:

$$M_{pl,Rd} = I_{eff} \cdot \sigma_{pl,Rd} = I_{eff} \cdot \frac{t p^2 \cdot f_y}{4 \cdot \gamma_{Mo}} \quad (\text{Eq 2.1.53})$$

Avaluant l' Eq 2.1.5.3:

$$M_{pl,Rd} = 325 \cdot \frac{25^2 \cdot 275}{4 \cdot 1.05} = 13.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Mode 1, mecànic plàstic:

$$F_{t,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 13.3}{0.275} = 193 \text{ kN}. \quad (\text{Eq 2.1.54})$$

Mode 2, mode d'esgotament mix:

$$F_{t,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,Rd} + 2 \cdot n \cdot F_{t,ancord,Rd}}{m+n} = \frac{26.6 + 12.06}{0.3} = 131 \text{ kN}. \quad (\text{Eq 2.1.55})$$

Mode 3, esgotament del cargol d'ancoratge:

$$F_{t,Rd} = 2 \cdot F_{t,ancord,Rd} = 241.2 \text{ kN}. \quad (\text{Eq 2.1.56})$$

Mode 4, ànima del pilar a tracció:

$$F_{t,Rd} = b_p \cdot e_p \cdot f_{yd} = 300 \cdot 11 \cdot 261.9 = 864 \text{ kN}. \quad (\text{Eq 2.1.57})$$

Per tant $F_{t,Rd} = 131 \text{ kN}$ per fila d'ancoratge (Eq 2.1.55), això implica 44 kN per cargol, que equival a una resistència a tracció de 352 kN.

Per tant es compleix la verificació

$$N_{t,Rd} = F_{t,Rd} = 354 \text{ kN} > 350 \text{ kN (màxim esforç a tracció)}.$$

Resistència de la unió per una combinació de càrrega M+N

Per comprovar la resistència del moment de càlcul M_{Rd} s'utilitza la taula 6.7 de l'eurocodi EN 1993 1-8 (figura 2.1.84).

$$M_{R,d} = \min \left(\frac{F_{t,Rd} \cdot z}{\frac{z_{t2}}{e+1}} ; \frac{-N_{j,Rd} \cdot z}{\frac{z_{t2}}{e-1}} \right) \quad (\text{Eq 2.1.58})$$

On:

$$Z_{t1} = 275 \text{ mm.}$$

$$Z_{t2} = 137.5 \text{ mm.}$$

$$e_n = \frac{M_{ed}}{N_{ed}} = \frac{172}{373} = 0.46 \text{ m.}$$

Avaluant l' Eq 2.1.58 s'obté:

$$M_{R,d} = \min \left(\frac{349 \cdot 0.4125}{\frac{0.1375}{0.46+1}} ; \frac{-1582 \cdot 0.4125}{\frac{0.1875}{0.46-1}} \right) = \min (1120 \text{ kN}\cdot\text{m} ; 1879 \text{ kN}\cdot\text{m}) = 1120 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$1120 \text{ kN}\cdot\text{m} > 409 \text{ kN}\cdot\text{m}$, per tant es comprova que aguanta la combinació M+N.

Loading	Lever arm z	Design moment resistance $M_{j,Rd}$	
Left side in tension Right side in compression	$z = z_{T,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} > 0$ and $e > z_{T,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ and $e \leq -z_{C,r}$
		The smaller of $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{C,r}/e + 1}$ and $\frac{-F_{C,r,Rd} z}{z_{T,l}/e - 1}$	
Left side in tension Right side in tension	$z = z_{T,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ and $0 < e < z_{T,l}$	$N_{Ed} > 0$ and $-z_{T,r} < e \leq 0$
		The smaller of $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{T,r}/e + 1}$ and $\frac{F_{T,r,Rd} z}{z_{T,l}/e - 1}$	The smaller of $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{T,r}/e + 1}$ and $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{T,l}/e - 1}$
Left side in compression Right side in tension	$z = z_{C,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ and $e \leq -z_{T,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ and $e > z_{C,l}$
		The smaller of $\frac{-F_{C,l,Rd} z}{z_{T,r}/e + 1}$ and $\frac{F_{T,r,Rd} z}{z_{C,l}/e - 1}$	
Left side in compression Right side in compression	$z = z_{C,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ and $0 < e < z_{C,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ and $-z_{C,r} < e \leq 0$
		The smaller of $\frac{-F_{C,l,Rd} z}{z_{C,r}/e + 1}$ and $\frac{-F_{C,r,Rd} z}{z_{C,l}/e - 1}$	The smaller of $\frac{-F_{C,l,Rd} z}{z_{C,r}/e + 1}$ and $\frac{-F_{C,r,Rd} z}{z_{C,l}/e - 1}$
$M_{Ed} > 0$ is clockwise, $N_{Ed} > 0$ is tension $e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}}$			

Figura 2.1.84. Taula 6.7 de En 1993 1-8

2.1.8.1.3. Resistència a tallant de la unió

No es té en compte l'acció del fregament entre la placa i el formigó degut a que hi ha combinacions d'accions en que hi ha axial de tracció i per tant no hi ha fregament. La resistència a tallant d'un pern d'ancoratge, R_v , ancoratge R_d :

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma M2} \quad (\text{Eq 2.1.59})$$

On:

$$\alpha: 0.44 - 0.0003 \cdot f_b = 0.20. \quad (\text{Eq 2.1.60})$$

Avaluant l' Eq 2.1.60. s'obté una resistència a tallant:

$$F_{v,Rd} = 102.91 \text{ kN.}$$

$F_{v,Rd} >$ tallant màxim 87 kN- per tan es comprova l'esforç a tallant.

2.1.8.2. Unió pilar llinda

S'ha realitzat la comprovació manual de la unió amb les comprovacions de resistència dels elements que la formen així com el càlcul del moment resistent màxim que és capaç de suportar la unió.

Totes les verificacions s'han realitzat seguint la normativa que dicta el Codi Tècnic.

La unió presenta les següents reaccions calculades pel CYPE 2011.

M_y : 367 kN·m.

N_y : 116 kN.

T_y : 96 kN.

La unió es comporta com una unió rígida, d'aquesta manera es verifica de la manera que s'exposa a continuació i també s'aconsegueix eliminar l'efecte palanca. Un efecte molt perjudicial ja que multiplica els esforços degut perquè apareix un punt de recolzament que multiplica la força (figura 2.1.85).

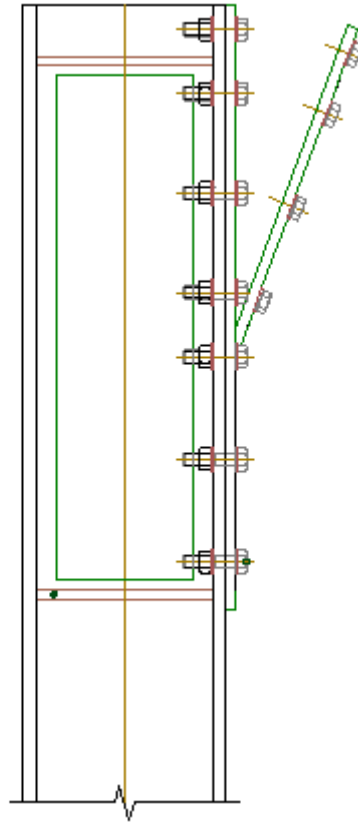


Figura 2.1.85. Dibuix del possible efecte palanca.

2.1.8.2.1. Moment resistent de càlcul a la unió pilar llinda

El moment de càlcul aplicat a la unió satisfà la següent expressió i és el que es produeix quan el cargol més allunyat assoleix la seva resistència de càlcul a tracció.

$$M_u = \frac{F_t r d}{A \cdot c} \left[\frac{dc^3}{3} + \frac{bc_1}{3} \right] \quad (\text{Eq. 2.1.61})$$

On d , c , c_1 i b són paràmetres que depenen de la posició de la línia neutra (figura 2.1.87.), la posició d'aquesta s'obté de l'equació:

$$\frac{c}{c_1} = \sqrt{\frac{b}{d}} \quad (\text{Eq. 2.1.62.})$$

On:

c , c_1 i b són dimensions de la secció equivalent (Figura 2.1.87.)

d ampla de l'àrea equivalent de secció dels cargols:

$$d = \frac{A \cdot n}{\sum p} \quad (\text{Eq. 2.1.63.})$$

On:

A: àrea d'un cargol. (Figura 2.1.86.)

N: número de cargols.

$\sum p$: suma de les separacions verticals entre cargols.

TORNILLO TIPO	VASTAGO			Ø del agujero d _s (mm)	Area neta del núcleo (F _n) cm²	Area resistente (F _r) cm²
	d (mm)	d _i (mm)	b (mm)			
T-10	10	8,16	17,5	11	0,523	0,58
T-12	12	9,853	19,5	13	0,762	0,743
T-16	16	13,546	23	17	1,44	1,570
T-20	20	16,933	25	21	2,25	2,75
(T-22)	22	18,933	28	23	2,82	3,03
T-24	24	20,319	29,5	25	3,24	3,53
(T-27)	27	23,319	32,5	28	4,27	4,56
T-30	30	25,706	35	31	5,19	5,61
(T-33)	33	28,706	38	34	6,47	6,94
T-36	36	31,093	40	37	7,59	8,17

Figura 2.1.86. Característiques dels cargols ordinaris.

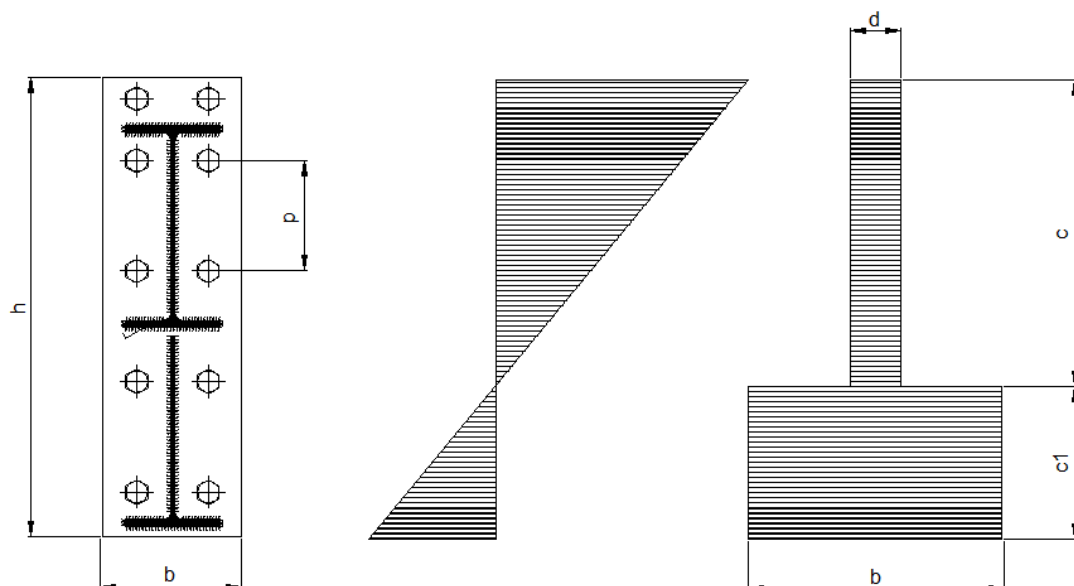


Figura 2.1.87. Seccions equivalents.

Avaluant l' Eq. 2.1.63 s'obté:

$$d = \frac{A \cdot n}{\sum p} = \frac{2.75 \cdot 14}{79} = 0.49 \text{ cm.}$$

Avaluant l' Eq. 2.1.62. s'obté

$$c = 11.42 \text{ cm.}$$

$$c_1 = 74.78 \text{ cm.}$$

$$b = 21 \text{ cm.}$$

Avaluant l' Eq. 2.1.62. s'obté

$$M_u = \frac{F_{t,Rd}}{A \cdot c} \left[\frac{dc^3}{3} + \frac{bc_1^3}{3} \right] = \frac{12672}{2.75 \cdot 74.78} \left[\frac{0.49 \cdot 74.78^3}{3} + \frac{21 \cdot 11.42^3}{3} \right] = 49.13 \text{ t} \cdot \text{m}$$

(490 kN·m).

On:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \cdot 6400 \cdot 2.75}{1.25} = 12670 \text{ kg.} \quad (\text{Eq. 2.1.64.})$$

El moment màxim a la unió obtingut amb el CYPE 2011 equival a 409 kN·m, per tant aquesta unió aguanta el moment màxim exigit.

2.1.8.1.3. Comprovació dels cargols

Els cargols pateixen una sol·licitud combinada a tallant i tracció, per tant s'ha de complir:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (\text{Eq. 2.1.65.})$$

On:

$$F_{v,Ed} = \frac{V_y}{n} = \frac{9600}{14} = 685 \text{ kg.} \quad (\text{Eq. 2.1.66.})$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0.5 \cdot 6400 \cdot 2.75}{1.25} = 7040 \text{ kg.} \quad (\text{Eq. 2.1.67.})$$

$$F_{t,Rd} = 11600 \text{ kg.} \quad (\text{Eq. 2.1.68.})$$

$$F_{t,Ed} = \frac{M_y \cdot A \cdot c}{\left[\frac{dc^3}{3} + \frac{bc_1^3}{3} \right]} = \frac{3670000 \cdot 2.75 \cdot 74.78}{69302 + 10425} = 9466 \text{ kg.} \quad (\text{Eq. 2.1.69.})$$

Avaluant l' Eq. 2.1.65 s'obté:

$$\frac{685}{7040} + \frac{9466}{1.4 \cdot 11600} = 0.097 + 0.582 = 0.679 \leq 1$$

Els cargols són capaços d'aguantar la sol·licitació combinada.

2.1.9. Comprovació de les sabates

Per realitzar un correcte càlcul i dimensionament de la sabata s'han utilitzat les especificacions que mara l' EHE08 i els llibres de J. Montoya per utilitzar les escales fonamentals.

El formigó utilitzat és de tipus HA25, i per l'armat de la fonamentació s'utilitzen barres d'acer corrugades B500S, amb un límit elàstic de $f_{yk}=500\text{N/mm}^2$. Les barres de diàmetres menors a 12 no s'utilitzen ja que per a fonamentacions és recomanable no utilitzar diàmetres petits perquè es podrien veure afectats per la corrosió.

La sabata que s'estudia correspon a un pilar de la part de la nau composta de pòrtics simples.

Cal remarcar que per l'estudi de la fonamentació s'utilitzen els esforços transmesos pel pilar sense majorar, ja que es minoren les tensions admissibles del terreny i que s'han d'aplicar els coeficients corresponents de simultaneïtat.

En aquest cas l'acció més desfavorable és aplicant on coeficient de 0.5 a l'acció del vent. Per tant, els esforços que transmet el pilar a la sabata són:

- $M_y = 187.9 \text{ kN}\cdot\text{m}$.
- $N = 94.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$.
- $H = 71.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$.

Tensió admissible del terreny: 250 kN/m^2 .

Es comença la comprovació de la sabata proposada pel CYPE 2011 que es mostra a continuació (figura 2.1.88).

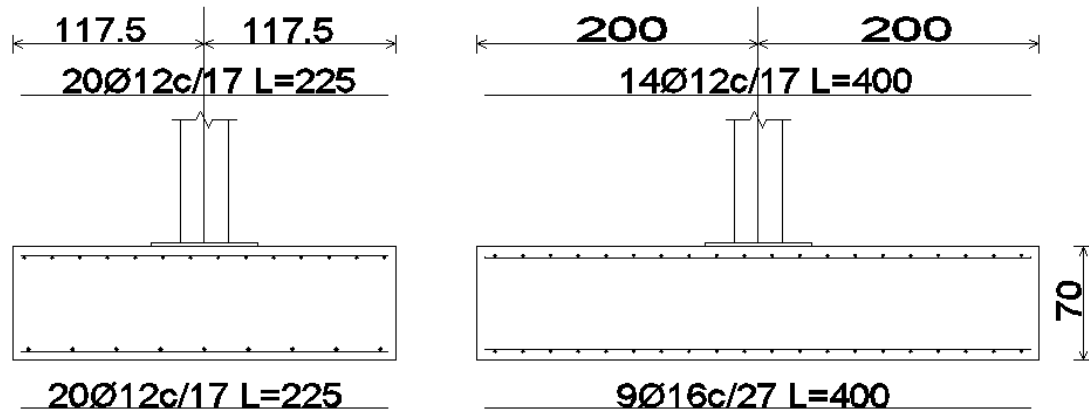


Figura 2.1.88. Dibuix de les sabates.

Les sol·licitacions a la base del terreny i que creen les reaccions són:

$$M_t = M_{ed} + H \cdot h = 187.9 + 71.5 \cdot 0.7 = 237.95 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (\text{Eq. 2.1.70.})$$

$$N_t = N_{ed} + P = 94.5 + 157.5 = 252 \text{ kN} \quad (\text{Eq. 2.1.71.})$$

On P és el propi pes de la sabata:

$$P = a \cdot b \cdot h \cdot \rho_{\text{formigó}} = 157.5 \text{ kN.}$$

On:

$$a = 4 \text{ m.}$$

$$b = 2.25 \text{ m.}$$

$$h = 0.7 \text{ m.}$$

$$\rho_{\text{formigó}} = 2500 \text{ kg/m}^3.$$

2.1.9.1. Comprovació de la tensió admissible del terreny.

Càlcul de l'excentricitat de les forces:

$$e = \frac{Mt}{Nt} = 1.05 > \frac{a}{6} = 0.66 \quad (\text{Eq. 2.1.72.})$$

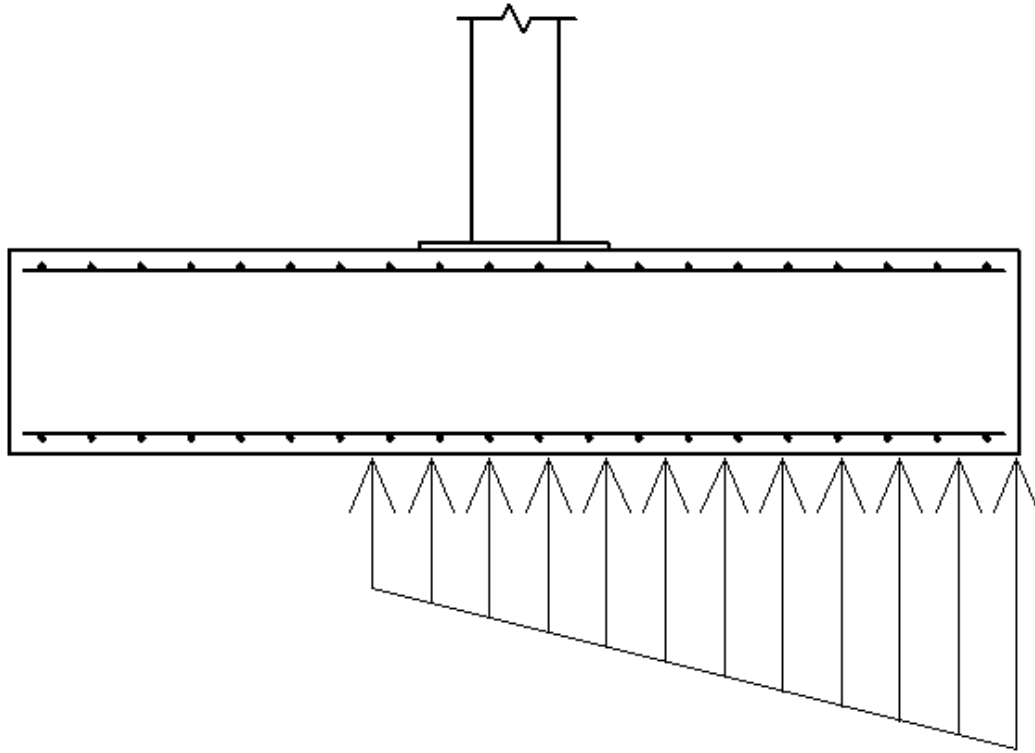


Figura 2.1.89. Dibuix del diagrama d'esforços a la sabata.

Amb una excentricitat major a $a/6$ la distribució de tensions sobre el terreny es pot considerar un repartiment triangular amb una zona comprimida i l'altre traccionada (figura 2.1.89) on la tensió màxima del terreny ve donada per la següent expressió.

$$\sigma = \frac{2 \cdot (N+P)}{3 \cdot \left(\frac{a}{2} - e\right) b} = 60.7 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Eq. 2.1.73.})$$

Es comprova que la sabata no s'enfonsi:

$$\sigma_{\text{màx}} = 60.7 \text{ kN/m}^2 \leq 1.25 \cdot \sigma_{\text{adm.}}$$

On:

1.25: és el 25% d'error que s'estableix en els llibres de J. Montoya.

2.1.9.2. Comprovació a bolcada de la sabata

Degut a que la fonamentació de la nau industrial pateix esforços horitzontals causats per l'acció del vent cal comprovar que aquests esforços no fan bolcar la sabata. Així doncs es comprova el coeficient entre el moment que provoquen les esforços normals i el moment de bolc aquest coeficient no pot superar el coeficient λ_E .

$$\frac{Me}{M_{bolc}} = \frac{(N+P)a/2}{(M+H \cdot z)} = \frac{252 \cdot 2}{237.95} = 2.12 \geq \lambda_E. \quad (\text{Eq. 2.1.74.})$$

On:

λ_E : és 1,8 per a accions desestabilitzadores en la bolcada segons la taula 2.1.del DB-SE-CIMENTACIONES.

2.1.9.3. Comprovació a lliscament de la sabata

En general cal comprovar que les sabates no lliscaran, la taula 2.1 del DB-SECIMENTACIONES estableix un coeficient de seguretat mínim de 1,5, per tant es comprova que el quocient entre els esforços normals i els tallants no superi aquest coeficient.

$$\frac{Nt}{H} = \frac{252}{71.05} = 3.55 > 1.5. \quad (\text{Eq. 2.1.75.})$$

La sabata compleix la verificació.

2.1.9.4. Càlcul de l'armat necessari

2.1.9.4.1. Armat inferior

Dimensionament de l'armat:

La sabata suporta una tensió màxima de $\sigma_{\text{màx}} = 60.7 \text{ kN/m}^2$. L'armat es dimensiona segons el moment que la sabata pateix, per tant en aquesta tensió es resta el moment originat pel propi pes de la sabata ja que no dóna moment.

$$\sigma = \sigma_{\text{màx}} - \frac{h \cdot \rho}{A} = 60.7 \text{ kN/m}^2 - \frac{0.7 \cdot 25}{1} = 43.2 \text{ kN/m}^2. \quad (\text{Eq. 2.1.76.})$$

Tal com marca la norma, la tensió comença a la meitat de la distància entre el pilar i el final de la placa base (figura 2.1.90.).

Per tant el moment que suporta l'armat equival a:

$$M = \frac{Pl^2}{2} = \frac{43.2 \cdot 1.7625^2 \cdot 1.5}{2} = 100 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (\text{Eq. 2.1.77.})$$

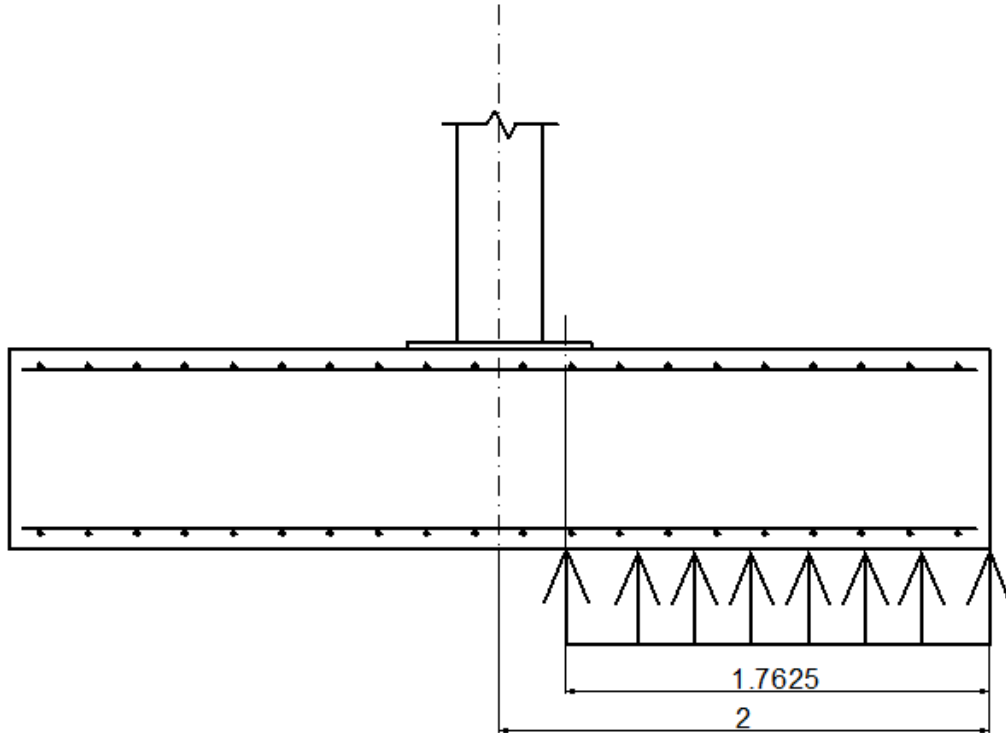


Figura 2.1.90. Esquema de la distància d'aplicació del moment.

Nota: la constant 1.5 es degut a que els esforços per l'armat si que s'han de majora, exactament el coeficient no seria 1.5 ja que també intervenen càrregues permanents. Tot i això s'opta per adoptar 1.5 com a valor vàlid ja que s'està pel costat desfavorable.

En escales funcionals de J. Montoya es troba que per aquest cantell s'exigeix per ruptura fràgil una capacitat mecànica $A \cdot f_{yd}$ de 400 kN, per tant superior a l'exigida.

Com que l'opció proposada pel CYPE 2011 recomana uns rodons de Ø16 això equival a una capacitat mecànica de 89.2 kN.

Avaluant la capacitat mecànica exigida i la que ofereix un rodó s'obté el número de rodons per metre lineal.

$$N^{\circ} \text{ rodons/ml} = \frac{400}{89.2} = 4.48, \text{ que equival a un rodó cada 23 cm.}$$

Aquesta opció és lleugerament superior a la proposada pel CYPE 2011, proposa un rodó cada 27 cm. Això pot ser degut a l'existència de l'armadura superior.

Comprovació de quantia geomètrica mínima per variàncies tèrmiques i retracció:

D'acord al EHE 08 la quantia geomètrica mínima ha de ser un 0.9 per mil de la secció de formigó.

$$A_{\min} = 0.0009 \cdot 100 \cdot d = 6.03 \text{ cm}^2 \quad (\text{Eq. 2.1.77.})$$

On:

$$d \text{ (cantell útil)} = 67 \text{ cm.}$$

Opció proposada pel CYPE 2011:

$$\frac{100}{27} \cdot A_{(\varnothing 16)} = \frac{100}{27} \cdot 2 = 7.4 \text{ cm}^2 > A_{\min} \text{ (compleix)} \quad (\text{Eq. 2.1.78.})$$

En la direcció perpendicular hi ha rodons Ø12 a 17 cm, per tant:

$$A_{(\varnothing 12)} \cdot \frac{100}{17} = 6.64 \text{ cm}^2 > A_{\min} \text{ (compleix)} \quad (\text{Eq. 2.1.79.})$$

2.1.9.4.2. Armat superior

Ja que part de la sabata està treballant en voladís degut al seu propi pes (a partir de la secció A-A de la figura 2.1.91) es necessita una armadura de tracció a la part superior de la llosa.

Aquesta correspon i d'acord amb el CYPE 2011 en una Àrea f_{yd} mínima (retracció i variació tèrmiques), o sigui: Ø12 a 17 cm.

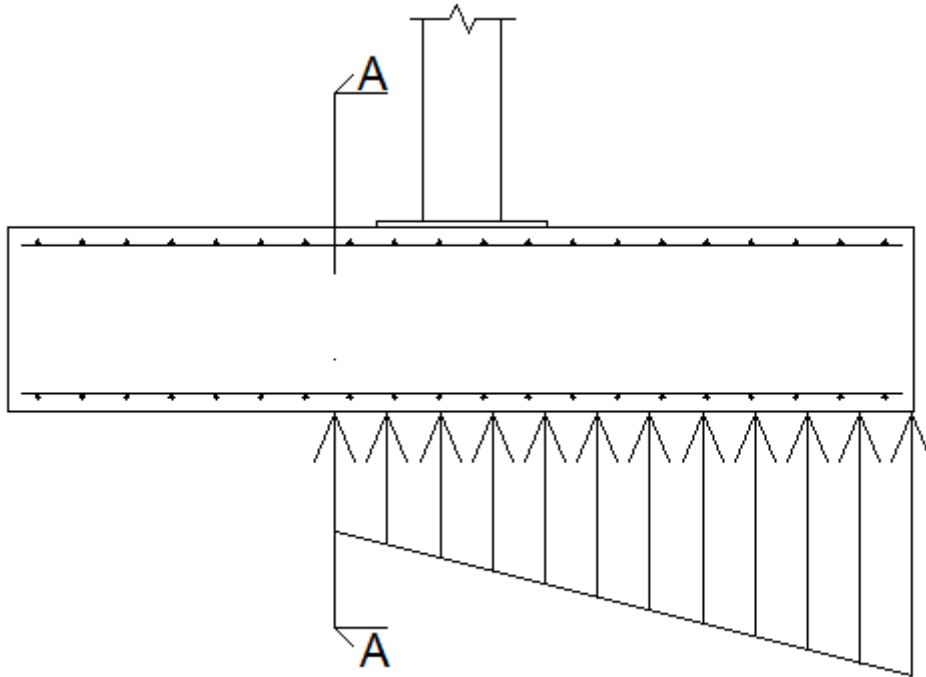


Figura 2.1.91.S treballant en voladís

2.1.10. Càlcul del forjat col·laborant

El terra de l'altell destinat a oficines es dur a terme amb un forjat col·laborant. La llum màxima entre l'entramat de bigues d'acer laminat que suporta el forjat col·laborant és de 6.25 metres. La càrrega que actua sobre el forjat és la sobrecàrrega d'ús 2kN/m^2 . Per aquestes condicions escollim un forjat col·laborant de la casa arcelormittal model Cofrastra 70.

Consultant a les taules facilitades pel constructor, es comprova que per forjats birecolzats cal que la llosa tingui un espessor mínim de 20 cm.

Les característiques d'aquest forjat són les de la figura 2.1.92.

S_{\min} (cm ² /m)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
S_{\max} (cm ² /m)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Espesor de losa en cm	Luzes L en cm										
	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
24	3000	3000	3000	3000	2950	2590	2300	1990	1780	1600	1450
23	3000	3000	3000	3000	2810	2470	2190	1960	1700	1530	1380
22	3000	3000	3000	3000	2670	2350	2090	1860	1620	1450	1310
21	3000	3000	3000	2910	2540	2230	1980	1770	1590	1380	1240
20	3000	3000	3000	2760	2400	2110	1870	1670	1500	1300	1180
19	3000	3000	3000	2600	2270	1990	1770	1580	1410	1230	1110
18	3000	3000	2840	2450	2130	1870	1660	1480	1330	1200	990
17	3000	3000	2660	2290	2000	1760	1550	1390	1240	1050	810
16	3000	3000	2660	2140	1860	1640	1450	1290	1130	860	650
15	3000	2900	2500	1980	1730	1520	1340	1190	920	690	510
14	3000	2680	2300	1830	1590	1400	1230	960	730	530	380
13	2900	2460	2110	1830	1460	1260	970	740	550	390	260
12	2640	2240	1920	1670	1300	980	740	550	400	260	

Figura 2.1.92. Quadre de càrregues màximes.

A la següent pàgina es poden consultar les característiques tècniques del forjat col·laborant extrems del catàleg del fabricant.

Espesor nominal de la chapa		mm	0,75	1,00
Sección útil de acero:	A	cm ² /m	11,95	16,22
Inercia:	I	cm ⁴ /m	92,50	125,53
Posición línea neutra:	v_i	cm	3,14	3,14
Módulo resistente:	W	cm ³ /m	29,47	39,99

Figura 2.1.93. Característiques útils del perfil.

Espesor	cm	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	25	30
Litros	l/m ²	94	104	114	124	134	144	154	164	174	194	224	274
Peso teórico del hormigón solo*	daN/m ²	226	250	273	298	322	346	370	394	418	466	538	658

* Para obtener el peso total de la losa, hay que añadir el peso del hormigón debido a la flecha y el peso del perfil.
Peso volumétrico del hormigón 2500 daN/m³

Figura 2.1.94. Consum nominal del formigó.

Espesor	cm	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	25	30
Para e = 0,75 mm distancia d- v_i	cm	8,86	9,86	10,86	11,86	12,86	13,86	14,86	15,86	16,86	18,86	21,86	26,86
Distancia x	cm	4,12	4,42	4,70	4,97	5,23	5,48	5,72	5,96	6,19	6,62	7,24	8,18
I_{15}	cm ⁴ /m	942	1188	1474	1805	2183	2611	3093	3633	4233	5629	8260	14301
Z	cm	7,49	8,39	9,29	10,2	11,12	12,03	12,95	13,87	14,80	16,65	19,45	24,13

Espesor	cm	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	25	30
Para e = 0,88 mm distancia d- v_i	cm	8,86	9,86	10,86	11,86	12,86	13,86	14,86	15,86	16,86	18,86	21,86	26,86
Distancia x	cm	4,56	4,90	5,23	5,54	5,84	6,12	6,40	6,67	6,94	7,44	8,15	9,24
I_{15}	cm ⁴ /m	634	784	955	1148	1363	1602	1864	2149	2457	3147	4365	6894
Z	cm	7,34	8,23	9,12	10,01	10,91	11,82	12,73	13,64	14,55	16,38	19,14	23,78

Nota:

- d : espesor de losa, nervio del perfil incluido.
- V_i : distancia del eje neutro del perfil a su nervio inferior
- x : distancia del eje neutro de la losa a su nervio superior
- I_{15} : momento de inercia mixta equivalente en acero correspondiente a $E_a/E_b = 15$
- z : brazo de levas convencional ($d - v_i - x/3$)

Los valores de "m" y "k" se dan en el sistema de unidades: largo en cm., y fuerza en daN.

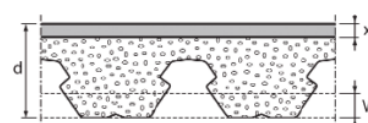


Figura 2.1.95. Característiques útil per gruix losa.

Cizallado admisible entre chapa y hormigón

$$T = T/100 * z \leq \mu * rd / L + k$$

Con

 ρ = sección de chapa a la sección útil del hormigón (altura d-v_u)

L = datos de calculo en cm.

	Resistencia	Deslizamiento	
		Carga estática	Carga dinámica
m	3320	3320	2300
k	0,85	0,85	0,85

Resistencia al fuego

RF: resistencia al fuego del forjado.

Un espesor mínimo es requerido para respetar el criterio de temperatura en cara no expuesta.

En ausencia de armado específico, con una losa de 12 cm, los forjados Cofrastra son RF 30'. Para los RF superiores, deberá de tenerse en cuenta los datos del armado incluidos en el hormigón.

RF pedido	60'	90'	120'	180'
d mínimo en cm	12	13	14	17

Aislamiento acústico

El comportamiento acústico del forjado bruto, corresponde a la ley de masas (valores calculados por modelos).

Espesor d en cm	11	12	13	14	15	20	25	30
Rw (C; Ctr)	46 (-1;-4)	47 (-1;-4)	48 (-1;-5)	48 (-1;-4)	49 (-1;-5)	53 (-2;-7)	55 (-1;-7)	58 (-2;-7)

Figura 2.1.96. característiques tècniques de la llosa.

2.2. Càlcul de la instal·lació solar fotovoltaica

2.2.1. Introducció

2.2.1.1. Resum

L'energia solar es tracta d'una activitat de producció elèctrica en règim especial, aquella que com a complement del Règim Ordinari s'aplica a la distribució d'energia elèctrica a les xarxes de distribució i transport procedents del tractament de residus, biomassa, hidràulica, eòlica, solar i cogeneració.

L'energia solar juntament amb la biomassa és la menys desenvolupada actualment al contrari d'energies com l'hidràulica o la eòlica, i per això en elles es vol fer una aposta ambiciosa.

L'energia solar fotovoltaica ha crescut considerablement en els últims anys. Això es degut bàsicament a factors com l'extensió del mercat, la constant reducció de costos o l'augment de l'eficàcia.

L'anergia solar fotovoltaica es basa en l'efecte fotovoltaic que es dur a terme en les cel·les fotovoltaiques, són uns dispositius electrònics que transformen l'energia lluminosa del sol en energia elèctrica absorbint fotons de la llum per emetre electrons, al capturar aquests electrons lliures s'obté corrent elèctric.

L'eficiència de conversió a nivell comercial és encara baixa, aquesta oscil·la des de el 6% en plaques de cèl·lules de silici amorf fins al 14-19% en les de cèl·lules de silici monocristal·lí. La vida mitjana d'aquestes cèl·lules a màxim rendiment es situa al voltant dels 25 anys.

Els panells fotovoltaics proporcionen corrent continu, si volem transformar-ho en corrent altern o augmentar-ne la potència, haurem d'afegir un inversor i/o convertidor de potencia.

2.2.1.2. Abast

Aquest estudi contempla els següents aspectes:

- Recopilació de la legislació actual.
- Descripció dels elements necessaris per la confecció de la instal·lació.
- Càlcul de les pèrdues.
- Comparació entre diferents opcions per les que es pot optar pel que fa a determinats components de la instal·lació.
- Estudi de producció energètica.

2.2.1.3. Marc legal

- Nou Pla de foment de les Energies Renovables en compromís amb la Llei 54/1997 del 27 de novembre que estableix l'objectiu d'arribar al 12 % d'aportació de les energies renovables a la demanda energètica a Espanya a l'any 2010. Proposta recollida al " Llibre Blanc de les Energies Renovables " de la Unió Europea. Aquest objectiu significa duplicar la participació de 1998 en energies renovables.
- Llei 54/1997 del 27 de novembre del sector elèctric, que té per objecte regular les activitats destinades al subministrament d'energies elèctriques consistent en la seva generació, transport, distribució, serveis de recàrrega energètica comercialització i intercanvis intracomunitaris i internacionals així com la gestió econòmica i tècnica del sistema elèctric.
- Reial Decret 2818/1998 del 23 de desembre, sobre producció elèctrica d'instal·lacions que s'abasteixen d'energies renovables, té per objectiu el desenvolupament reglamentari de la Llei 54/1997 del 27 de novembre pel que fa als requisits i procediments de inscripció en el registre corresponent, a les condicions d'entregues d'energia i al règim econòmic
- Reial Decret 1663/2000 del 29 de setembre, sobre la connexió d'instal·lacions fotovoltaïques a la xarxa de baixa tensió.

- Reial Decret 436/2004 del 12 de març, en el que s'estableix la metodologia per a l'actualització i sistematització del règim jurídic i econòmic de l'activitat de producció elèctrica en règim especial.
- Reial Decret 661/2007 del 25 de maig pel que es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial i determina el preu de venda en funció del tipus d'instal·lació.
- Reial Decret 1578/2008 del 26 de setembre, en que es modifica la retribució de l'activitat de producció d'energia elèctrica mitjançant tecnologia solar fotovoltaica per instal·lacions posteriors a la data límit de manteniment que s'exposa a la retribució del Reial Decret 661/2007 del 25 de maig.
- Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió amb les seves corresponents ITC, Instruccions Tècniques Complementàries. Especialment la ITC-BT 40, que es refereix a les instal·lacions elèctriques de baixa tensió.
- Reial Decret 842/2002 del 2 d'agost, per el que s'aprova el Reglament Electrotècnic e Baixa Tensió. (REBT).

2.2.2. Descripció de la instal·lació fotovoltaica

2.2.2.1. Descripció general

La nau està orientada en la direcció est-oest de la seva direcció longitudinal, d'aquesta manera la coberta de la nau queda orientada cap al sud, així s'aconsegueix reduir a zero les pèrdues per mala orientació.

Es diferencien dues parts de la instal·lació: el costat de Corrent Continu i el costat de Corrent Altern.

COSTAT CC

PANELLS → CAIXA ESTANCA → CABLEJAT → CAIXA ESTANCA
(seccionador bipolar) → **INVERSOR**.

COSTAT CA

INVERSOR → CAIXA ESTANCA (interruptor tetrapolar) → **QUADRE GENERAL DE PROTECCIÓ** (interruptor magnetotèrmic/interruptor diferencial)

→ **CONJUNT DE PROTECCIÓ I MESURA** (interruptor magnetotèrmic i diferencial, 3 fusibles, 3 transformadors) → **COMPTADOR TRIFÀSIC** → **CAIXA GENERAL DE PROTECCIÓ** (3 fusibles) → **CAIXA DE SECCIONAMENT**.

S'ha disposat d'una subestructura de suport pels panells que consta de perfils lleugers d'alumini que es fixen paral·lelament mitjançant sistemes de fixació amb cargols d'acer inoxidable. També n'asseguren l'estanqueïtat.

Al col·locar l'estructura paral·lela a la coberta es redueixen significativament els esforços de tracció.

La fixació dels mòduls fotovoltaics a la subestructura s'ha realitzat mitjançant unes fixacions d'alumini anomenades "clips".

2.2.2.2. Descripció dels components

2.2.2.2.1. Mòdul solar

S'han escollit panells solars fotovoltaics mono silicis, ja que són els més utilitzats actualment. El silici que compon les cèl·lules és d'un únic cristall amb una mateixa xarxa cristal·lina a tot el material fet que comporta molt poques imperfeccions.

Els panells solar escollits són del model SUNPORT 72M, de CUANTUM SOLAR. Aquests panells estan formats per 72 cèl·lules de silici monocristal·lí de 156x156mm. El mòdul amb el marc d'alumini de 50 mm té una eficiència màxima final del 14% i dona una potencia de pic de 280 Wp. El mòdul té unes dimensions de 2x1m., una profunditat de 50mm. i un pes de 25 kg.

El plafó va connectat a una caixa i connector tipus TYCO IP 65 amb una longitud de cable de 1200mm. i 4mm² de secció.

Els panells fotovoltaics proporcionen corrent continu, per transformar-lo en corrent altern s'ha afegit un inversor.

A continuació es mostra l'aspecte dels plafons i les especificacions tècniques (figura 2.2.1. i figura 2.2.2.)

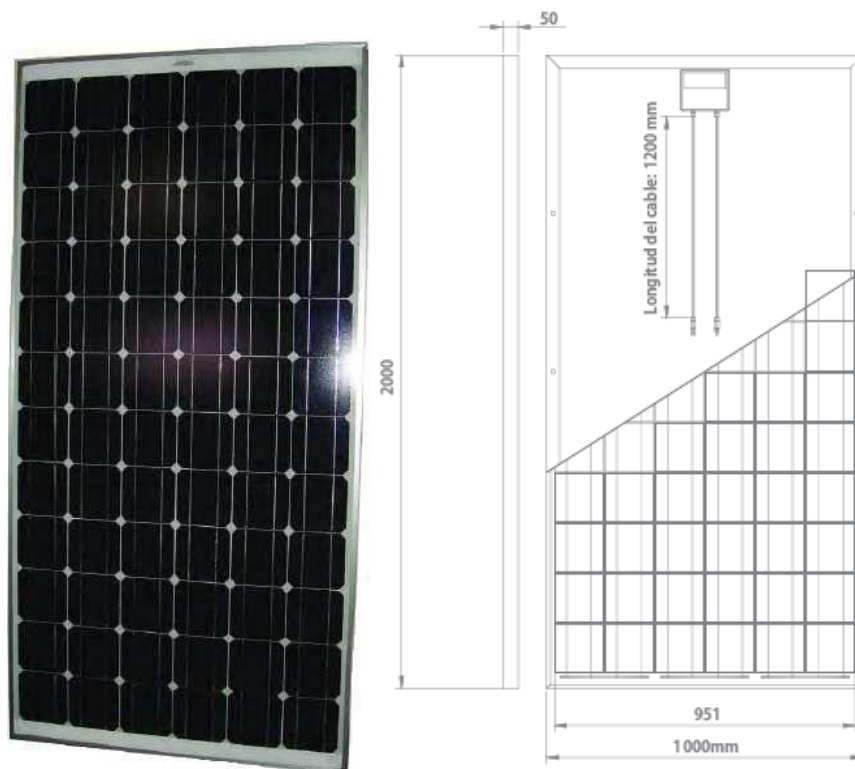


Figura 2.2.1. Mòdul fotovoltaic Sunport 72 M.

ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES SUNPORT 72M	
Potencia màxima $\pm 3\%$ (Pmpp)	280 W
Tensió punt de màxima potencia (Vmpp)	35.89 V
Corrent punt màxima potencia	7.81 A
Tensió de circuit obert (Voc)	46.98 V
Corrent de curtcircuit (Isc)	8.36 A
Temperatura normal d'operació (NOCT)	47 \pm 2 °C
Coef. temp. Potencia Tk (PN)	-0.44% / °C
Coef. Temp. Tensió circuit obert Tk (Voc)	-149,2 mV/ °C
Coef. Temp corrent de curtcircuit Tk (Isc)	2.1 mA/ °C

Figura.2.2.2. Taula de les especificacions tècniques Mòdul fotovoltaic Sunport 72M.

Aquests valors estan referits a condicions estàndard de mesura (STC): Radiació de 1000 W/m^2 i temperatura de cèl·lula 25°C (no temperatura ambient).

NOCT: temperatura de cèl·lula normal d'operació, radiació de 800 W/m^2 i temperatura ambient 20°C amb velocitat del vent 1 m/s .

MPP: maxim power point (punt de màxima potència).

2.2.2.2.2. Subgenerador fotovoltaic

El generador fotovoltaic té una potència nominal de 90.72 kW i una potència de pic de 100.08 kW ($\cos \phi = 0.9$). El generador fotovoltaic s'ha dividit en 10 subgeneradors igual de 9.72 kW de potència nominal i 10.08 kW de potència de pic.

Cada subgenerador funciona independentment de la resta amb el seu propi inversor, d'aquesta manera s'aconsegueix evitar que problemes que afectin a una part de la instal·lació puguin afectar a la resta i es contribueix a augmentar el rendiment global de la instal·lació.

2.2.2.2.3. Inversors

L'inversor és l'element clau de la instal·lació, ja que és l'encarregat de convertir el corrent continu en corrent altern i d'acoblar el circuit dels plafons fotovoltaics i la xarxa.

Els inversors de connexió a xarxa escollits són del model NT 10000 de SUNWAYS. És el primer inversor de la categoria de 10 kW preparat per a muntatge en mural. Hi ha un total de 10 inversors, un per cada subgenerador.

A continuació es mostra l'aspecte de l'inversor, un esquema senzill de les unitats que el componen per dintre i la seva part inferior que és on es realitzen totes les connexions (figura 2.2.3. i figura 2.2.4.).

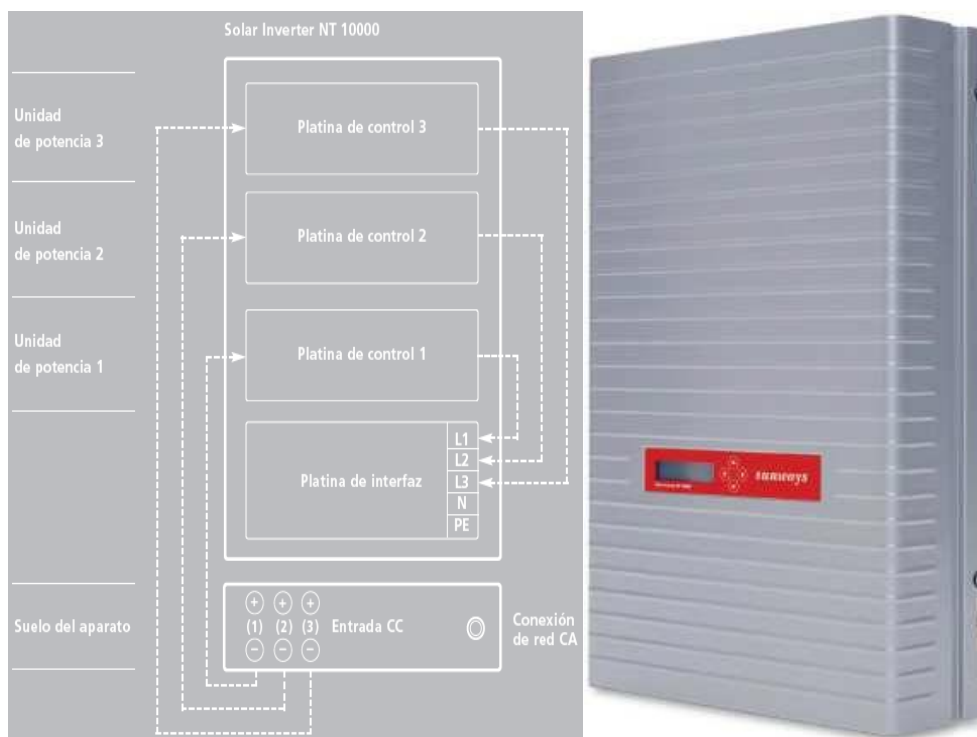


Figura 2.2.3. Inversor NT 10000 (foto i esquema de les parts principals).



Figura 2.2.4. Part Inferior de l'inversor NT 10000 on es realitzen totes les connexions.

A continuació s'exposa una taula amb les característiques tècniques de l'inversor (figura 2.2.5. i figura 2.2.6.).

ENTRADA CC		SORTIDA CA	
Potència màxima del generador solar	12000 W	Potència màxima CA	10000 W
Potència nominal entrada	11000 W	Potència nominal CA	10000 W
Corrent màxim CC	10 A per cada entrada MPP	Intensitat màxima CA	18.2 A
Intensitat nominal CC	9 A per cada entrada MPP	Intensitat nominal CA	14.5 A
Potència en mode standby	20 W	Dimensionat de proteccions connexió a xarxa	3 x 25 A
Potència nocturna	< 0.3 W	Freqüència nominal	50 Hz
Potència d'arrencada	7 W	Tensió de xarxa	400 V
Tensió nominal CC	400 V	Marge tolerància tensió de xarxa	-15 % a 10 %
Rang de tensió MPP	De 350 V a 750 V	Factor de distorsió amb Pn	< 3 %
Tensió màxima corrent continu	850 V	Factor potència reactiva (cos phi)	Aprox. 1
Tensió de connexió	420 V	Forma d'ona	Sinusoidal

Tensió de desconexió	340 V	Control de tensió de xarxa	Integrat (segons RD 1663/2000)
Número d'entrades	1 per cada entrada MPP (3 en total)*	Control de defecte a terra	RCD
Eficiència màxima	96.4 %**	Control d'aïllament, i freqüència i CC	Integrat (segons RD 1663/2000)
Eficiència europea	95.9 %**	Característiques de sortida	Font de corrent
Topologia HERIC	Si	Número de fases necessàries (230 V monofàsiques	3

Figura 2.2.5. Especificacions tècniques (1) de l'inversor de xarxa Sunways NT 10000.

* Entrada MPP multitracking

** amb ventilador

Interfases de dades	RS232, RS485, USB, relé d'avís sense potencial
Interfases per sensors	Radiació, temperatura
Pantalla	LCD, 2 x 16 posicions, format de finestra 100 x 25 mm
Tipus de protecció contra influències ambientals	IP 54
Humitat relativa màxima	95%
Temperatura ambient (°C)	De -25 °C a 40 °C

Dimensiones (Al x An x F)	805 x 500 x 175 mm
Refrigeració	Ventilador al panell posterior, sistema de dues càmeres
Pes	30 kg (sense bastidor de muntatge)
Garantia estàndard (opcional)	5 anys/10 anys

Figura 2.2.6. Especificacions tècniques (2) de l'inversor de xarxa Sunways NT 10000.

Gràcies a la tecnologia HERIC®, l'inversor ofereix una molt bona eficiència inclús en règim de càrrega parcial. A més, la regulació MPP permet una resposta ràpida i precisa a les condicions de radiació.

L'inversor té tres entrades de corrent continua (CC) independents que permeten la connexió de generadors solars amb diferents valors de disseny. El sistema MPP-Multitracking regula cada generador solar per separat. L'energia obtinguda s'injecta en forma de corrent trifàsica a la xarxa de distribució.

Tres canals dissipadors de calor independents i aïllats dels components electrònics mantenen la temperatura a l'interior de la caixa a nivell òptim.

L'equipament bàsic inclou:

- Pantalla il·luminada de dues línees per consultar totes les dades operatives i de rendiment.
- Panell de comandament per una configuració fàcil.
- Ports USB, RS485 i RS232 per la interconnexió de diversos inversos i la connexió a un ordinador.
- Relé d'avís sense potencial per la connexió de dispositius d'alarma visuals i acústics
- Nou software NT Monitor 2.0 per l'avaluació de les dades operatives.

2.2.2.3. Instal·lació elèctrica de consum

La instal·lació elèctrica de consum de la nau és independent de la instal·lació de generació i per tant no forma part dels objectius del present projecte.

La nau podria tenir una escomesa en baixa o en mitja tensió (amb un transformador propi) en funció del consum de les màquines del seu interior, ja que si la potència a contractar és molt elevada pot sortir més econòmic la segona opció.

No obstant, es desconeix el procés productiu o activitat que s'hi realitzarà amb exactitud, i consegüentment no s'ha entrat en la descripció de la instal·lació de consum.

Els inversors de xarxa i demés dispositius propis de la instal·lació de generació, s'alimenten a través de la mateixa línia d'evacuació, ja que la normativa diu que el consum del generador fotovoltaic ha d'estar subjecte a les mateixes tarifes de venda d'electricitat. És a dir, el que consumeix el generador s'ha de pagar al mateix preu al que es ven l'electricitat produïda.

A efectes pràctics aquest consum representa una part molt petita en comparació a l'energia generada.

2.2.2.4. Instal·lació elèctrica de generació

La instal·lació elèctrica de generació d'electricitat està composta dels plafons fotovoltaics, els cablejat de continua, les proteccions de continua, els inversors de xarxa, les proteccions d'alterna, el quadre general de proteccions d'alterna, el quadre general de protecció i mesura i el cablejat d'alterna fins arribar al punt de connexió a la xarxa de la companyia distribuïdora.

Els panells fotovoltaics estan disposats paral·lelament a la coberta de la nau, en format vertical (amb el costat curt en la direcció longitudinal de la nau), permetent així una millor evacuació d'aigua i neu.

Els subgeneradors estan formats per tres cadenes de dotze mòduls en sèrie cada una.

La connexió en sèrie dels mòduls s'ha realitzat amb els cables que disposa a la seva part posterior, i les connexions en paral·lel de les tres cadenes d'un subgenerador s'ha realitzat directament a l'interior de cada inversor, ja que aquests tenen tres entrades independents de CC.

El recorregut del cablejat, s'ha pensat per evitar al màxim les pèrdues d'estanquitat a la coberta. Tots els cables pugen canalitzats mitjançant safates de plàstic.

El cablejat de continua entre el subgenerador i l'inversor, de 6 mm² de secció, s'uneix amb el cablejat dels panells (pols positiu i negatiu), de 4 mm² de secció, mitjançant una caixa de connexions estanca (situada a la part exterior de la coberta). El recorregut fins a l'inversor és d'uns 70 m (distància màxima).

Abans d'arribar als inversors, el cablejat passa pels interruptors bipolars seccionadors de CC (tres per inversor, dins una caixa estanca amb porta frontal d'obertura), en els que es realitzen els canvis de secció de 6 a 4 mm² (els cables que entren a l'inversor han de ser de 4mm² de secció).

El recorregut d'alterna va des de la sortida de l'inversor (cable tetrapolar de 4 mm² de secció) fins al quadre de proteccions d'alterna, passant per l'interruptor automàtic magnetotèrmic que protegeix cada inversor (situat a la mateixa caixa on hi ha els seccionadors de CC), on es realitza el canvi de secció de 4 a 25 mm². En aquest tram el cablejat es canalitza mitjançant safates de plàstic muntades superficialment per la paret.

Del quadre de proteccions d'alterna, en el que només hi ha un magnetotèrmic i un diferencial generals amb l'embarrat de coure per poder realitzar les connexions, surt un únic cable tetrapolar de 185 mm² de secció. Aquest surt a l'exterior per sota de la nau dins d'una rasa sota terra fins al quadre de protecció i mesura (CPM).

El CPM està ubicat dins una caseta prefabricada de formigó, encastada a la paret que delimita la parcel·la, amb una porta d'obertura cap a l'exterior. D'aquesta manera es facilita l'accés de la companyia distribuïdora als comptadors en qualsevol moment, sense haver d'entrar dins de la nau o de la parcel·la.

A l'interior del quadre de protecció i mesura hi ha un magnetotèrmic i un diferencial generals, fusibles, transformadors de corrent per la lectura indirecta del comptador i un comptador trifàsic bidireccional.

A la sortida del quadre de protecció i mesura, el cable passa per la Caixa General de Protecció (CGP) i per la Caixa de Seccionament (CS). Llavors va per estesa elèctrica fins el punt de connexió.

2.2.2.4.1. Elements de protecció de CC

Els elements de protecció de CC són els que estan situats entre els generadors fotovoltaics i els terminals d'entrada de l'inversor.

2.2.2.4.1.1. Protecció contra contactes directes

No pot haver-hi contacte directe amb les connexions per la qual cosa es disposarà de les següents proteccions:

- Mòduls fotovoltaics amb aïllament elèctric de classe II, doble aïllament on les parts metàl·liques estan separades de la resta amb peces aïllants.
- La connexió en sèrie dels mòduls fotovoltaics es realitza mitjançant connectors del tipus "Tyco Solarlok" (inclosos a la part posterior dels panells) amb grau de protecció IP 65.
- Caixes de connexió estanques per la connexió en sèrie en el canvi de secció de 4 a 6 mm².
- Caixes de protecció individual de cada inversor amb aïllament elèctric de classe II.
- La connexió del generador fotovoltaic als inversors es realitza mitjançant els connectadors "Tyco Solarlok" accessibles des de l'exterior i a prova de contactes.
- Els cables utilitzats a la part de contínua són de doble aïllament (figura 2.2.7.)



Figura 2.2.7. Cable solar de CC de “Tyco Electronics”

2.2.2.4.1.2. Protecció contra contactes indirectes

La protecció contra contactes indirectes a la part de CC s'aconsegueix mitjançant el sistema de connexió a terra i el controlador permanent d'aïllament integrat a l'inversor. El generador fotovoltaic, les caixes de connexió estanques, la caixa de protecció individual de cada inversor i el propi inversor estan connectats directament a terra, mentre que els conductors no, de manera que estan en mode flotant. Així, no existeix cap perill en cas d'un primer contacte. Si hi hagués un defecte, al produir-se el primer contacte s'activa un senyal d'alarma a l'inversor i aquest es desconnecta. En aquest cas, seria necessària la verificació de possibles defectes d'aïllament en tot el sistema fotovoltaic

2.2.2.4.1.3. Protecció contra sobrecàrregues i curtcircuits

En el cas de instal·lacions elèctriques fotovoltaïques, la protecció contra sobrecàrregues i curtcircuits evidentment és necessària, però degut a les característiques de funcionament dels panells, els valors màxims de corrent a considerar no difereixen gaire dels valors nominals de funcionament.

Com es pot apreciar a la corba característica del mòdul fotovoltaic (figura 2.2.8), la intensitat de corrent màxima o intensitat de curtcircuit, és de 8,36 A mentre que la intensitat de corrent del punt de màxima potència (MPP) és de 7,81 A.

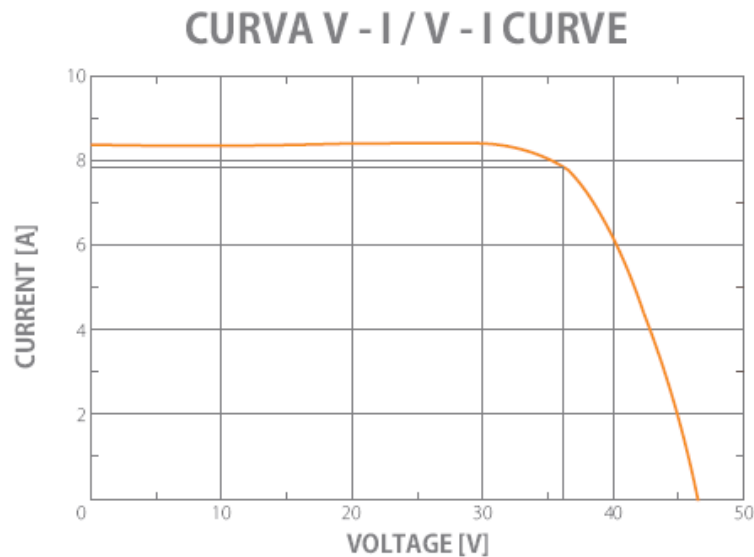


Figura.2.2.8. Corba característica del mòdul fotovoltaic SUNPORT 72 M.

Per evitar que les pèrdues de potència siguin elevades, es connecten el màxim nombre de panells en sèrie de manera que no es superi la tensió màxima d'entrada de l'inversor, obtenint així una intensitat de corrent relativament baixa amb una tensió bastant elevada (la potència perduda és proporcional al quadrat de la intensitat).

El fabricant ABB disposa d'elements de protecció especialment dissenyats per aquest tipus de instal·lacions (figura 2.2.9.).



Figura 2.2.9. Interruptor seccionador bipolar de CC

La sèrie de l'interruptor és la S800PV-M de ABB, interruptor seccionador de CC per aplicacions fotovoltaïques que proporciona una desconexió segura per cadenes en sèrie fotovoltaïques.

Com que cada inversor té tres entrades independents, els interruptors de CC han de ser també independents, de manera que cada inversor, pel costat de contínua, està protegit per tres interruptors.

2.2.2.4.1.4. Protecció contra sobretensions

Aquest tipus de protecció ve inclosa dins el mateix inversor com a varistors (component elèctric que disminueix la resistència quan la tensió augmenta) al costat del generador fotovoltaic, que ofereixen protecció contra sobretensions atmosfèriques, per exemple en el cas de llamps llunyans durant una tempesta elèctrica.

2.2.2.4.2. Element de protecció CA

Els elements de protecció de CA són els que estan situats entre la sortida de l'inversor fins al punt de connexió de la xarxa.

2.2.2.4.2.1. Protecció contra contactes directes

Al costat de CA tampoc hi pot haver accés directe a les connexions, de manera que es disposarà de les següents proteccions:

- L'inversor té un grau de protecció contra influències ambientals IP 54.
- Els cables utilitzats al costat de CA són tetrapolars, de coure i amb doble aïllament. A més, el cablejat que està a una altura accessible per les persones, va canalitzat amb safates de plàstic.

2.2.2.4.2.2. Protecció contra contactes indirectes

Els interruptors diferencials en instal·lacions de CA detecten i desconnecten les fugues a terra. Així, es desconnecta el circuit quan una persona realitza un contacte directe i també quan es produeix una fuga a terra a través d'una carcassa (connectada a terra) assegurant uns nivells de tensió de contacte no perjudicials per les persones.

La part d'alterna de la instal·lació es protegeix mitjançant un diferencial associable a un magnetotèrmic. La protecció consta d'un adaptador diferencial més un transformador toroïdal (o diferencial toroïdal) amb retard (figura 2.2.10), ja que per intensitats molt elevades són necessaris aquests tipus de dispositius.



Figura 2.2.10. Adaptador interruptor diferencial (esquerra) i interruptor conjunt magnetotèrmic més diferencial (dreta) de ABB.

El model de l'interruptor és el RC221-T1 de ABB, de Quatre pols, amb calibre $I_n = 200 \text{ A}$ i sensibilitat ajustada a 300 mA .

L'aspecte del diferencial toroïdal és el següent:



Figura 2.2.11. Diferencial toroïdal.

2.2.2.4.2.3. Protecció contra sobrecàrregues i curtcircuits

La instal·lació s'ha de protegir amb dispositius automàtics de protecció contra sobrecàrregues i curtcircuits.

S'ha dotar cada subgenerador amb un interruptor magnetotèrmic (figura 2.2.12.) L'interruptor és de la sèrie S800PV-S de ABB, especialment dissenyat per l'aplicació en instal·lacions fotovoltaïques, que proporciona protecció i control contra sobrecàrregues i curtcircuits.



Figura 2.2.12. Interruptor S800PV-S de ABB contra sobrecàrregues i curtcircuits.

Concretament, l'interruptor necessari és el model S804PV-S25, de calibre $I_n = 25$ A i poder de tall $I_{cu} = 5$ kA.

La instal·lació ha de disposar d'un interruptor magnetotèrmic general amb una intensitat de curtcircuit superior a la indicada per l'empresa distribuïdora en el punt de connexió. Aquest interruptor ha de ser accessible a l'empresa distribuïdora en tot moment, per poder realitzar la desconexió manual.

L'interruptor és un magnetotèrmic tetrapolar de caixa modelada del model Tmax T1-C de ABB, amb calibre $I_n = 160$ A i poder de tall $I_{cu} = 25$ kA. (figura 2.2.13.)



Figura 3.2.2.13. Família d'interruptors Tmax de ABB.

2.2.2.4.2.4. Protecció contra pics de tensió

L'inversor inclou varistors al costat de la xarxa que protegeixen els semiconductors de potència en cas de pics de tensió intensos i limitats en el temps, garantint l'eliminació de l'energia de la bobina en cas de desconexió.

Protecció de la qualitat del subministrament. Interruptor automàtic de la interconnexió

L'interruptor automàtic per la interconnexió, juntament amb el relé de xarxa (inclosos dins l'inversor), realitza la desconexió - connexió automàtica de la instal·lació fotovoltaica en cas de pèrdua de tensió o freqüència de la xarxa. Els valors d'actuació per màxima i mínima freqüència, i per màxima i mínima tensió són:

- Freqüència: 49 – 51 Hz.
- Tensió: $0,85 \cdot U_m$ – $1,1 \cdot U_m$.

El rearmament del sistema de commutació i, per tant, de la connexió a la xarxa de BT de la instal·lació fotovoltaica el realitza el propi inversor de manera automàtica, un cop restablerta la tensió o freqüència de xarxa per part de l'empresa distribuïdora.

2.2.2.4.2.5. Protecció contra el funcionament en illa de l'inversor

El funcionament en mode illa consisteix en que l'inversor segueix injectant energia a la xarxa encara que els valors normals de funcionament d'aquesta hagin caigut per sota dels mínims establerts, per exemple per motius d'averia, de manteniment, etc.

Degut a la perillositat d'aquest tipus de funcionament, l'inversor verifica de manera permanent, que els valors de la tensió de la xarxa i la seva freqüència es troben dins els rangs permesos, injectant energia a la xarxa només quan està dins d'aquests rangs i desconnectant-se automàticament en cas contrari.

L'inversor es torna a connectar de manera automàtica quan es restableixen els paràmetres permesos.

2.2.2.4.2.6. Aïllament galvànic

La instal·lació ha de disposar de separació galvànica entre la xarxa de distribució i la pròpia instal·lació, mitjançant un transformador d'aïllament o algun altre mitjà similar.

Hi ha inversors, normalment no aptes per muntatge en mural degut a l'elevat pes i les grans dimensions, que disposen d'un transformador al seu interior que realitza aquesta funció.

En el cas que s'estudia, els inversors no disposen d'un transformador d'aïllament al seu interior ja que el seu disseny compacte no ho permet, però incorporen separació elèctrica i mecànica entre la xarxa de distribució de BT i la instal·lació fotovoltaica.

Les funcions de supervisió i protecció internes actuen sobre l'interruptor de desarmament, en substitució del transformador galvànic d'aïllament.

2.2.2.4.3. Elements de mesura

2.2.2.4.3.1. Instal·lació de generació. Conjunt de Protecció i Mesura (CPM)

La instal·lació elèctrica de generació requereix un comptador trifàsic bidireccional per comptabilitzar per una part l'energia injectada a la xarxa, i per l'altra la consumida pels diversos elements que formen el generador fotovoltaic.

Com que l'energia consumida s'acull a les mateixes tarifes de venda d'electricitat en règim especial, en realitat el que fa el comptador és restar-la de la generada donant així el valor d'energia neta a cobrar.

El comptador és el model ORBITAX r4hAcl10T3 de ORBIS (figura 2.2.14.). És un comptador bidireccional de mesura indirecta, pel que és necessari disposar de tres transformadors de corrent 200/5 (un a cada fase). També disposa d'una sortida RS485 per la seva lectura remota mitjançant un ordinador i mòdem.

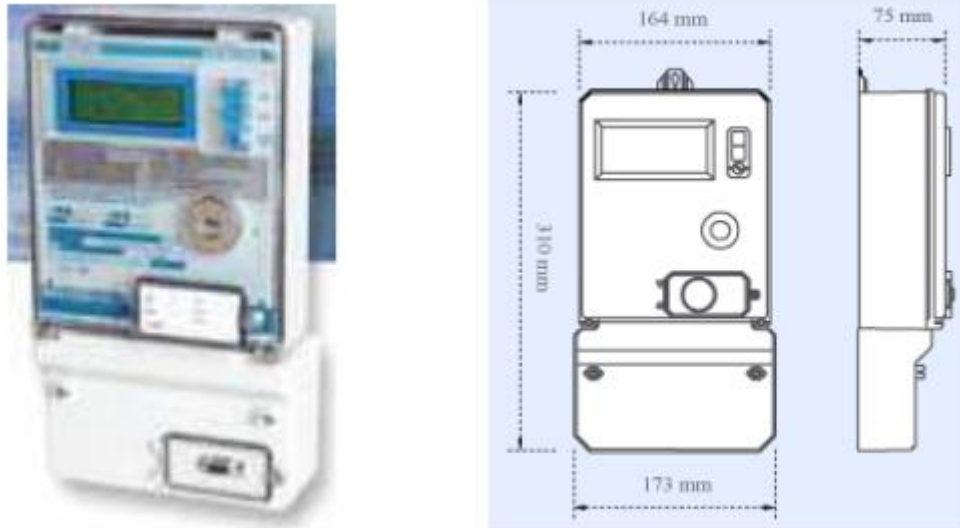


Figura 2.2.14. Comptador bidireccional trifàsic ORBITAX r4hAcl1oT3 de ORBIS

El conjunt de protecció i mesura s'instal·larà a una caseta de formigó prefabricat encastada a la paret que limita la parcel·la, amb obertura cap a l'exterior perquè la companyia distribuïdora hi tingui accés permanent.

Els elements de protecció del CPM són idèntics als del quadre de proteccions d'alterna, situat a l'interior de la nau (magnetotèrmic més diferencial amb transformador toroïdal). A més, s'ha de protegir la instal·lació contra possibles curtcircuits mitjançant fusibles de tipus ganivet de 200 A de calibre (un a cada fase).

2.2.2.4.4. Caixa General de Protecció (CGP)

Al costat del CPM s'ha de posar la caixa general de protecció (CGP) amb fusibles tipus ganivet de grandària NH1 i calibre 250 A, per protegir la xarxa de distribució en cas de que fallin les proteccions de la instal·lació fotovoltaica.

Una CGP té un aspecte similar al de la figura 2.2.15.

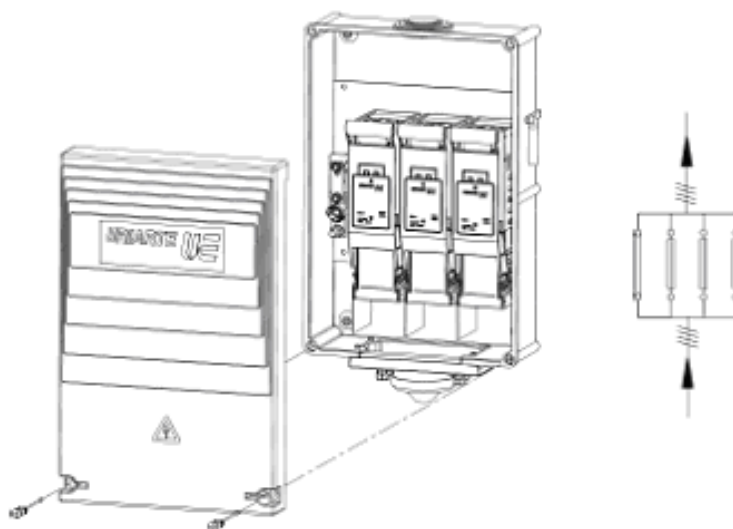


Figura 2.2.15. Esquema d'un CGP amb fusibles de grandària NH1 i calibre 250 A (esquema 9 de connexió)

2.2.2.4.5. Caixa de seccionament (CS)

El límit de propietat entre la instal·lació fotovoltaica de l'usuari i la xarxa de l'empresa elèctrica de distribució, s'estableix mitjançant la caixa de seccionament, normalment situada al costat o pròxima a la CGP.

2.2.2.4.6. Posada a terra

La posada a terra s'estableix principalment amb l'objectiu de limitar la tensió (a 24 V en aquest cas) que, respecte a terra, puguin presentar en un moment donat les masses metàl·liques, assegurar l'actuació de les proteccions i eliminar o disminuir el perill que suposa una averia als materials elèctrics utilitzats.

Mitjançant la instal·lació de posada a terra s'ha d'aconseguir que en el conjunt de la instal·lació, edifici i superfície pròxima del terreny no apareguin diferències de potencial perilloses i que, al mateix temps, permeti el pas a terra de les corrents de defecte o les de descàrrega d'origen atmosfèric.

La posada a terra de la instal·lació fotovoltaica ha de ser independent de la de l'empresa distribuïdora i no ha d'alterar les condicions de posada a terra d'aquesta.

2.2.2.4.6.1. Costat de CC

La marca comercial Tyco Solarlok ha dissenyat un sistema de posada a terra molt senzill i pràctic, que pràcticament no requereix mà d'obra, mitjançant el qual s'uneixen les masses conductores amb un cable de protecció (figura 2.2.16. i figura 2.2.17.).

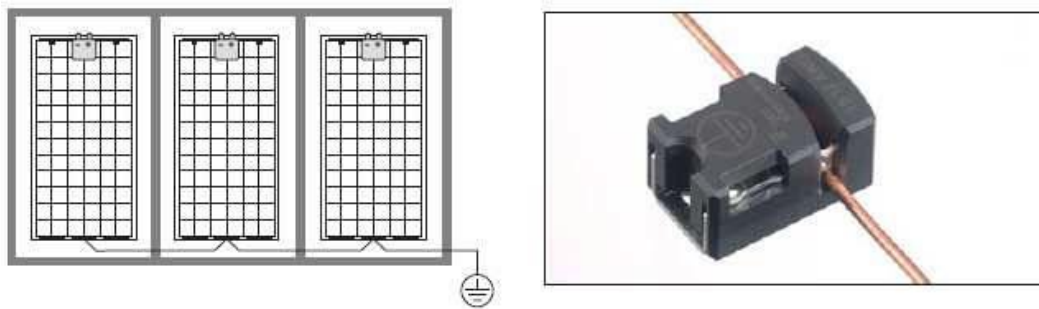


Figura 2.2.16. Sistema de posada a terra de Tyco Solarlok.



Figura 2.2.17. Clip de posada a terra de Tyco Solarlok (obert), col·locat sobre la subestructura de suport dels panells.

El sistema de posada a terra de la part de CC respon a un esquema IT, de manera que els conductors actius són flotants i independents de terra. Les masses de la subestructura, les caixes de connexió i de protecció i els inversors estan directament connectats a terra. En aquesta situació un primer defecte a terra no provoca tensions de contacte perilloses, però és necessari un sistema que avisi de que s'ha produït aquest primer defecte. Això s'aconsegueix amb un controlador permanent d'aïllament incorporat al mateix inversor de xarxa. Un defecte d'aïllament provoca l'aturada de l'inversor i

l'activació d'una senyal d'alarma per part d'aquest. En aquest cas, s'ha de procedir a la verificació de possibles defectes d'aïllament a tota la instal·lació.

2.2.2.4.6.2. Costat de CA

Al costat de corrent alterna, el sistema de posada a terra correspon a un esquema IT, segons el qual totes les masses dels equips elèctrics (els inversors) protegits per un mateix dispositiu de protecció (el controlador permanent d'aïllament de l'inversor) han de ser interconnectades i unides per un conductor de protecció a una mateixa toma de terra (la del costat de contínua).

El punt neutre de cada generador (o inversor) s'ha de connectar a terra. Aquest punt neutre, en el cas dels inversors de connexió a xarxa Sunways NT 10000, rep el nom de PE i es mostra a la figura 2.2.18.

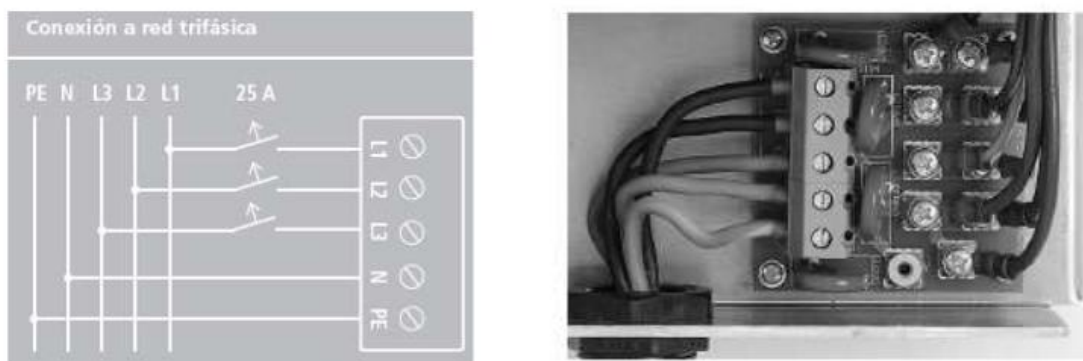


Figura 2.2.18. Detall amb esquema i fotografia del cable de posada a terra de l'inversor.

2.2.2.5. Connexió a la xarxa elèctrica

El punt de connexió serà en baixa tensió (400 V) i es realitzarà a la xarxa de l'empresa distribuïdora, o bé a l'escomesa de l'usuari.

2.2.3. Dimensionament de la instal·lació

2.2.3.1. Dimensionament del generador

2.2.3.1.1. Dimensionament previ

La instal·lació solar, al ser de baixa tensió, no superarà el 100 MW de potència per tant es pren aquesta potència com a referència.

Per calcular el número de subgeneradors es divideix la màxima potència possible per la potència de cada subgenerador.

$$\text{Número provisional de mòduls} = \frac{100000}{280/\text{mòduls}} = 357,14 \text{ mòduls.}$$

Com que no es pot superar els 100 MW de potència el número provisional de generador serà de 357, donant una potència de 99.96 MW

El número de mòduls també ve donat per la superfície de la coberta, es disposa d'una superfície de coberta dividida en dues cobertes de:

$$12.5 \times 54 + 12.5 \times 30 = 1050 \text{ m}^2$$

Els mòduls ocuparien una superfície de:

$$357 \text{ mòduls} \times 2 \text{ m}^2/\text{mòdul} = 714 \text{ m}^2$$

A priori no hi ha problema, però més endavant s'estudiarà la col·locació exacte.

2.2.3.1.2. Tensions dels mòduls a temperatures extremes

S'han de determinar les temperatures màxima i mínima nominals dels mòduls donades pels fabricants.

Amb el clima habitual de Catalunya les tensions màximes s'obtenen a l'estiu i les mínimes al hivern. Les característiques elèctriques venen donades per una temperatura de cèl·lula de 25°, llavors es consideren els gradients tèrmics màxims possibles per obtenir els valors extrems de funcionament de la tensió, (-10° C i 70° C). El càlcul s'ha realitzat mitjançant el coeficient de variació de la tensió amb la temperatura.

$$U_{oc}(T_x) = U_{oc} + T_k(U_{oc}) \cdot (T_x - T). \quad (\text{Eq 2.2.1})$$

On:

$U_{oc}(T_x)$: tensió en circuit obert a la temperatura T_x

$T_k(U_{oc})$: coeficient de variació de la tensió de circuit obert amb la temperatura.

U_{oc} i T : tensió de circuit obert i temperatura en condicions estàndard de mesura.

Avaluant l' Eq 2.2.1. per la tensió de circuit obert i el punt MPP, considerant les temperatures extremes s'obté:

$$U_{oc}(-10^{\circ}\text{C}) = 46.98 \text{ V} + (-0,1492 \text{ V}/^{\circ}\text{C}) \cdot (-10 - 25) = 52,202 \text{ V}$$

$$U_{oc}(70^{\circ}\text{C}) = 46.98 \text{ V} + (-0,1492 \text{ V}/^{\circ}\text{C}) \cdot (70 - 25) = 40,266 \text{ V}$$

$$U_{mpp}(-10^{\circ}\text{C}) = 35,89 \text{ V} + (-0,1492 \text{ V}/^{\circ}\text{C}) \cdot (-10 - 25) = 41.112 \text{ V}$$

$$U_{mpp}(70^{\circ}\text{C}) = 35,89 \text{ V} + (-0,1492 \text{ V}/^{\circ}\text{C}) \cdot (70 - 25) = 29,176 \text{ V}$$

La tensió màxima en circuit obert és de 52,202 V. I un mòdul opera, en condicions de MPP entre 29,176 V i 41,112 V.

2.2.3.2. Dimensionament dels inversors

2.2.3.2.1. Determinació de la potència nominal dels inversors

La potència total dels inversors s'ha d'ajustar a la potència pic del generador solar, però s'ha de tenir en compte que aquesta potència pic s'assolirà només durant determinats períodes de temps degut a que les característiques elèctriques que proporciona el fabricant estan referides a assaigs en condicions estàndard de mesura (1000 W/m², 25° C i AM = 1,5), que es donen amb poca freqüència a la realitat.

Alguns llibres recomanen, com a paràmetre de disseny, que la potència nominal de l'inversor sigui aproximadament igual al 80 - 85 % de la potència pic del camp fotovoltaic.

Aquesta reducció es considerava fa uns quants anys quan els mòduls fotovoltaics tenien toleràncies de % $10 \pm$ i rendiments màxims d'inversors del 92 - 93 %.

Avui en dia, les toleràncies s'han reduït fins al % $3 \pm$ i els rendiments màxims dels inversors són de l'ordre de 95 - 96 % de manera que és més recomanable optar per una reducció del 5 - 10 % de la potència pic del camp solar (enlloc d'un 15 o un 20 %), requerint cada cas concret un estudi en detall que es basa bàsicament en l'experiència del projectista.

Independentment d'això, en cap cas es poden superar els valors màxims de tensió i corrent que admet cada inversor, ja que la càrrega excessiva en intensitat o voltatge dels inversors pot suposar la pèrdua de l'aparell. A més, els components electrònics sobrecarregats envelleixen més ràpidament, reduint la vida útil de l'inversor.

Com a exemple de referència, es pot dir que per instal·lacions amb orientacions o inclinacions desfavorables (panells a les dues cares de la coberta, orientades a est i oest, o muntatges en façana per exemple) és aconsellable considerar una reducció de la potència de l'inversor superior al 10 %. En canvi, en el cas de panells amb seguiment es pot tendir més a una reducció del 5 % o inclús inferiors.

Considerant una reducció de la potència de l'inversor del 10 %.

$$P_{\text{ninstal·lació}} = 0,9 \cdot P_{\text{gen}}$$

L'inversor escollit té una potència nominal de sortida al costat de CA de 10 kW. Llavors, per ajustar al màxim el dimensionament de la planta, s'ha de fixar la potència total de sortida del grup d'inversors i determinar després el número de panells necessaris. Aplicant el que s'acaba d'explicar:

$$P_{\text{ninstal·lació}} = (10 \text{ inversors}) \cdot (10 \text{ kW/inversor}) = 100 \text{ kW}$$

$$P_{\text{gen}} = \frac{P_{\text{ninstal·lació}}}{0,9} = 111,11 \text{ kW}$$

$$\text{Número provisional de mòduls} = \frac{P_{\text{gen}}}{P_{\text{mòdul}}} = \frac{111,11}{280} = 396,8 \text{ mòduls.}$$

Per no superar els 100 kW, el número provisional de mòduls serà de 396. Per tant:

$$0,9 \cdot (396 \text{ mòduls} \times 280 \text{ W / mòdul}) = 0,9 \cdot 110880 = 99,792 \text{ W}$$

2.2.3.2.2. Ubicació dels inversors

També és de vital importància el lloc on s'ubica l'inversor o grup d'inversors ja que, sobretot els que no tenen refrigeració per ventilador, es poden arribar a escalfar molt.

Quan es sobrecarrega un inversor per estar infradimensionat, és a dir, li arriba més energia de la que pot convertir, el que fa és simplement dissipar aquest excés d'energia en forma de calor. Si no té refrigeració per ventilador, normalment té unes aletes metàl·liques per afavorir la dissipació de la calor per convecció natural.

El lloc ideal és un espai uniformement fresc, evitant sempre que es pugui la zona de coberta, ja que sobretot durant l'estiu pot arribar a temperatures massa elevades.

La bona ubicació de l'inversor o grup d'inversors pot arribar a ser igual o més important que el dimensionament de la potència dels panells, ja que ambdós són aspectes amb una influència molt important sobre el rendiment global del generador fotovoltaic.

Per les raons anteriorment exposades, els inversors s'ubicaran a l'interior de la nau a una zona de fàcil ventilació.

2.2.3.2.3. Ajustament i comprovació del número final de cadenes i número de mòduls per inversor

$$N^{\circ} \text{ de mòduls} = \frac{U_{cc, mpp}}{U_{mpp}} \quad (\text{Eq 2.2.2.})$$

Avaluant l' Eq 2.2.2.

$$N^{\circ} \text{ de mòduls màxim} = \frac{U_{cc, mpp} (\text{max})}{U_{mpp} (-10^{\circ} \text{C})} = \frac{750}{41,112} = 18.24 \text{ mòduls}$$

$$N^{\circ} \text{ de mòduls mínim} = \frac{U_{cc, mpp} (\text{min})}{U_{mpp} (70^{\circ} \text{C})} = \frac{350}{29,176} = 11.99 \text{ mòduls}$$

Però també s'ha de considerar que el número de mòduls en sèrie no pot provocar que la tensió de circuit obert estigui fora del rang de tensions d'entrada de l'inversor:

$$N^{\circ} \text{ de mòduls màxim} = \frac{U_{oc,cc}}{U_{oc}(-10^{\circ}C)} \quad (\text{Eq 2.2.3.})$$

Avaluant l' Eq 2.2.3.

$$N^{\circ} \text{ de mòduls màxim} = \frac{850}{52.202} = 16.28 \text{ mòduls}$$

Per tant es poden connectar entre 12 i 16 mòduls a cada inversor.

Per obtenir una instal·lació amb un màxim de 396 mòduls, considerant que es disposa de 10 inversors, s'haurien de connectar 39,6 mòduls per inversor, combinats en sèrie i en paral·lel respectant els límits de tensió i corrent. Per simplificar el disseny i fer-ho tant equilibrat com sigui possible (tots els inversors amb el mateix número de mòduls en sèrie i en paral·lel a cada entrada). Basant-nos amb la superfície i geometria de la coberta, una bona opció és reduir el número total de panells a 360, de manera que n'hi haurà 36 per inversor, amb tres cadenes en paral·lel de 12 mòduls cada una.

2.2.3.3. Instal·lació definitiva.

S'instal·laran 360 mòduls fotovoltaics, per tant les característiques de la instal·lació seran:

Potència pic i potència nominal

$$P_{\text{gen}} = 360 \text{ mòduls} \cdot \frac{280 \text{ Wp}}{\text{mòdul}} = 100800 \text{ W}$$

$$P_n = 0.9 \cdot P_{\text{gen}} = 0,9 \times 100800 = 90720 \text{ W}$$

La potència màxima admissible del grup d'inversors a la part de contínua està dins els rangs permesos per les característiques dels inversors:

$$10 \text{ inversors} \cdot \frac{12000 \text{ W}}{\text{inversor}} = 120 \text{ kW} > 100800 \text{ W}$$

Tenint en compte que en connexions en sèrie es sumen els voltatges per una mateixa intensitat, i en connexions en paral·lel es sumen les intensitats per un

mateix voltatge, es comprova que no es superen els límits dels rangs de tensió i corrent:

Comprovacions de tensió:

$$12 \cdot U_{\text{mpp}} (70^\circ\text{C}) = 12 \times 29.176 = 350.112 \text{ V} > 350 \text{ V}$$

$$12 \cdot U_{\text{mpp}} (-10^\circ\text{C}) = 12 \times 41.112 = 493.344 \text{ V} < 750 \text{ V}$$

$$12 \cdot U_{\text{oc}} (-10^\circ\text{C}) = 12 \times 52.202 = 626.424 \text{ V} < 850 \text{ V}$$

Comprovació de corrent:

$$3 \cdot I_{\text{mpp}} = 3 \cdot 7.81 = 23,43 \text{ A} < 3 \cdot I_{\text{ccnominal}} = 3 \cdot 9 = 27 \text{ A}$$

La intensitat nominal de la part de CC correspon a una de les entrades MPP-Multitracking. Aquest és el motiu pel qual està multiplicada per tres. La comprovació es pot fer igualment per cada entrada per separat.

$$I_{\text{mpp}} = 7.81 < I_{\text{ccnominal}} = 9 \text{ A}$$

2.2.3.4. Dimensionament de les proteccions elèctriques

2.2.3.4.1. Proteccions de la part de CC

L'element de protecció ha de ser un interruptor seccionador bipolar de contínua, dimensionat per la tensió màxima de circuit obert del generador a -10°C , i per una intensitat no inferior al 125 % de la intensitat màxima del generador.

$$I_{\text{n de protecció}} \geq 1.25 \cdot I_{\text{gen}} = 1.25 \cdot 8.36 = 10.45$$

$$V_{\text{n de protecció}} \geq 12 \cdot U_{\text{oc}} (-10^\circ\text{C}) = 12 \cdot 52.202 = 625.424 \text{ V}$$

El model escollit, com s'ha explicat anteriorment, és el S802PV-M32 amb calibre $I_{\text{n}} = 32 \text{ A}$, en base als següents models disponibles (figura 2.2.19.)

Number of poles	Rated current	Order details	Bbn	Price 1 piece	Price group	Weight 1 piece	Pack unit
	In A	Type code	Order code	EAN		kg	pc.
2	32	S802PV-M32	2CCP812001R1329	211233		0.43	1
	63	S802PV-M63	2CCD842001R1590	215026		0.65	1
	125	S802PV-M125	2CCP812001R1849	211240		0.43	1

Figura 2.2.19. Models disponibles de interruptors S800PV-M de ABB.

Com que cada inversor té tres entrades independents, els tres interruptors de CC han de ser també independents, de manera que cada inversor està protegit, pel costat de CC, per tres interruptors.

2.2.3.4.2. Proteccions a la part de CA

2.2.3.4.2.1. Magnetotèrmic individual per cada inversor

L'interruptor és del model S800PV-S de ABB, especialment dissenyat per la seva aplicació en instal·lacions fotovoltaïques, que proporciona protecció i control contra sobrecàrregues i curtcircuits.

El cablejat de connexió ha d'estar dimensionat per una intensitat no inferior al 125 % de la màxima intensitat del generador, entenent en aquest cas com a generador cada inversor de connexió a xarxa. Per tant:

$$1.25 \cdot I_{inv} = 1.25 \cdot 18.2 = 22.75 \text{ A}$$

Això dóna lloc a un calibre de 25 A. Es tracta d'un interruptor automàtic tetrapolar del model S804PV-S25 amb calibre $I_n = 25 \text{ A}$ i poder de tall $I_{cu} = 5 \text{ kA}$. A la figura 2.2.20. es poden veure els diferents models disponibles.

Number of poles	Rated current	Order details		Bbn 7612271	Price 1 piece	Price group	Weight 1 piece	Pack unit
	In A	Type code	Order code	EAN			kg	pc.
4	10	S804PV-S10	2CCP844001R1109	211134			0.98	1
	13	S804PV-S13	2CCP844001R1139	211141			0.98	1
	16	S804PV-S16	2CCP844001R1169	211158			0.98	1
	20	S804PV-S20	2CCP844001R1209	211165			0.98	1
	25	S804PV-S25	2CCP844001R1259	211172			0.98	1
	32	S804PV-S32	2CCP844001R1329	211189			0.98	1
	40	S804PV-S40	2CCP844001R1409	211196			0.98	1
	50	S804PV-S50	2CCP844001R1509	211202			0.98	1
	63	S804PV-S63	2CCP844001R1639	211219			0.98	1
	80	S804PV-S80	2CCP844001R1809	211226			0.98	1
	100	S804PV-S100	2CCP844001R1829	214982			0.98	1
	125	S804PV-S125	2CCP844001R1849	215019			0.98	1

Figura 2.2.20. Models disponibles de interruptors S800PV-M de ABB.

2.2.3.4.2.2. Magnetotèrmic general

L'interruptor general ha d'estar ajustat com a màxim al 130 % de la potència nominal de la instal·lació.

$$P_{n,inv} = 3 \cdot P_{n,fase} = 3 \cdot V_f \cdot I_f = 3 \cdot \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 14.5 = 10 \text{ kW}$$

De manera que l'interruptor magnetotèrmic general ha de tenir el calibre que es calcula a continuació:

Intensitat nominal sortida inversor: 14.5 A

Intensitat màxima sortida inversor: 18.2 A

Com que hi ha 10 inversors i s'ha d'ajustar a un màxim del 130 % de la intensitat nominal de la instal·lació:

$$10 \cdot (1.3 \cdot 14.5) = 188.5 \text{ A}$$

L'interruptor haurà d'estar a un calibre entre (145 i 188.5) A, això dóna lloc a un calibre de 160 A.

Per tant, l'interruptor és un magnetotèrmic tetrapolar de caixa modelada del model Tmax T1-C de ABB, amb calibre $I_n = 160 \text{ A}$ i poder de tall $I_{cu} = 25 \text{ kA}$.

2.2.3.4.2.3. Diferencial general

Els interruptors diferencials convencionals arriben fins calibres entre 63 i 80 A. Alguns blocs diferencials més sofisticats poden arribar a calibres de 125 A, però per una intensitat de corrent superior a 160 A (el calibre del diferencial ha de ser superior al del magnetotèrmic) la disponibilitat de diferencials ja és més escassa.

El calibre immediatament superior a 160 A és de 200 A, i per una intensitat tan elevada, el diferencial ha de portar associat un diferencial toroïdal amb retard i sensibilitat ajustable.

El model concret de l'interruptor és el RC221-T1 de ABB, de quatre pols, calibre $I_n = 200$ A i sensibilitat ajustada a 300 mA.

2.2.3.5. Dimensionament del cablejat

2.2.3.5.1. Cablejat del costat de CC

Per calcular la secció dels conductors es considera el criteri de màxim corrent (intensitat que sigui capaç de suportar el cable en règim permanent) per un dimensionament inicial, però també el de màxima caiguda de tensió per el dimensionament final.

S'han de dimensionar les seccions de cablejat en funció dels calibres de les proteccions de la instal·lació.

Per fer-ho s'utilitza la següent expressió:

$$S = \frac{\rho \cdot L \cdot I}{V_{a-b}} \quad (\text{Eq 2.2.4.})$$

On:

L: distància entre els dos punts A i B.

S: secció del cable.

ρ : resistivitat del material conductor.

V_{AB} : diferència de potencial entre dos punts A i B.

I: intensitat de corrent.

Per al cas dels conductors de coure i considerant que poden treballar en condicions extremes (temperatura màxima del cable: 90° C), la seva resistivitat màxima, calculada a partir de la resistivitat a 20° C s'obté mitjançant la següent expressió:

$$\rho(T) = \rho(20^{\circ}\text{C}) \cdot [1 + 0.004 \cdot (T - 20)] \quad (\text{Eq 2.2.5.})$$

Avaluant l' Eq 2.2.5.

$$1.72 \cdot 10^{-8} [1 + 0.004 \cdot (90 - 20)] = 2.2 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

Els mòduls solars, a la seva part posterior, porten una caixa de connexió amb dos cables de Tyco electronics (pols positiu i negatiu) de 1,2 m de llarg i 4 mm² de secció. Aquests són els que s'utilitzen per realitzar la connexió en sèrie dels panells, que suposa una longitud de cable de:

$$2 \cdot 1.2 \cdot 12 = 28.8 \text{ m per cada cadena (pol positiu)}$$

A aquesta longitud se li ha de sumar la del pol negatiu (també de 4 mm² de secció), que segons la distribució dels mòduls és d'uns 12,5 m.

Falta considerar (dues vegades) la distància des de la sortida de la cadena fotovoltaica fins a l'entrada de l'inversor, per determinar la secció de cable necessària per aquest tram. La distància més desfavorable és d'uns 70 m.

S'ha de calcular primer la caiguda de tensió (cdt) del cablejat de 4 mm² per obtenir després la caiguda de tensió màxima que hi pot haver en el tram de 70 m.

Avaluant l' Eq 2.2.5.

$$V_{a-b1} = \frac{\rho \cdot L \cdot I}{S} = \frac{2.2 \cdot 10^{-8} \cdot 28.83 \cdot 7.81}{4 \cdot 10^{-6}} = 1.24 \text{ V (pol positiu)}$$

$$V_{a-b2} = \frac{\rho \cdot L \cdot I}{S} = \frac{2.2 \cdot 10^{-8} \cdot 12.5 \cdot 7.81}{4 \cdot 10^{-6}} = 0.54 \text{ V (pol negatiu)}$$

Si es considera una cdt màxima admissible de l'1,5 %, la cdt màxima que hi pot haver al tram de 70 m és:

$$\frac{1.24+0.54+V}{12 \cdot 35.89} \cdot 100 \leq 1.5, \text{ llavors } V \leq 4.68 \text{ V}$$

Llavors la secció mínima per aquest tram ha de ser de segons l' Eq 2.2.5:

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{V_{a-b}} = \frac{2 \cdot 2.2 \cdot 10^{-8} \cdot 70 \cdot 7.81}{4.68} = 5.14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 5.14 \text{ mm}^2$$

La secció immediatament superior a la calculada disponible al mercat, és de 6 mm². Per tant, la cdt d'aquest tram segons l' Eq 2.2.5:

$$V_{a-b3} = \frac{\rho \cdot L \cdot I}{S} = \frac{2.2 \cdot 10^{-8} \cdot 70 \cdot 7.81}{6 \cdot 10^{-6}} = 4 \text{ V}$$

Per tant, la cdt final del tram de CC és:

$$V_{a-bt} = V_{a-b1} + V_{a-b2} + V_{a-b3} = 1.24 + 0.54 + 4 = 5.78 \text{ V}$$

Que suposa una cdt de inferior a l'1,5 %, com es mostra a continuació:

$$\Delta V (\%) = \frac{V_{a-b}}{V_{mpp}} = \frac{5.78 \text{ V}}{12 \cdot 35.89 \text{ V}} \cdot 100 = 1.34\% \leq 1.5\%$$

La cdt també es pot interpretar com una pèrdua de potència deguda al cablejat de CC, que es pot quantificar de la següent manera:

$$P_{\text{perd}} = P_{\text{gen}} \cdot \frac{1.34}{100} = 100800 \cdot 0.0134 = 1350.72 \text{ W}$$

De manera que la potència pic del generador fotovoltaic, descomptant les pèrdues del cablejat de CC, és:

$$P_{\text{gen definitiva}} = 100800 - 1350.72 = 99449.28 \text{ W}$$

2.2.3.5.2. Cablejat del costat de CA

Per calcular la secció dels trams de CA es segueix un procediment molt similar al de l'apartat anterior, amb alguna diferència pel que fa a les fórmules utilitzades.

En trifàsic, la cdt o diferència de potencial entre dos punts, s'expressa com:

$$V_{a-b} = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (\text{Eq 2.2.6.})$$

Considerant que el factor de potència de l'inversor és molt pròxim a la unitat, l'equació es pot simplificar a :

$$V_{a-b} = \sqrt{3} \cdot I \cdot R \quad (\text{Eq 2.2.7.})$$

Per tant l'equació de la secció queda en funció de l' Eq 2.2.6. i l' Eq 2.2.7:

$$S = \sqrt{3} \frac{\rho \cdot L \cdot I}{V_{a-b}} \quad (\text{Eq 2.2.8.})$$

La sortida de cada inversor està protegida per un interruptor automàtic magnetotèrmic de 25 A de intensitat nominal, i per tant aquesta és la intensitat mínima que ha de suportar aquest tram (fins al quadre de proteccions de CA).

S'ha decidit adoptar una secció de 25 mm² per aquest tram (amb una distància màxima de 20 m), per tant provoca una cdt segons l' Eq 2.2.8:

$$V_{a-b} = \sqrt{3} \frac{\rho \cdot L \cdot I}{S} = \sqrt{3} \cdot \frac{2.2 \cdot 10^{-8} \cdot 20 \cdot 18.2}{25 \cdot 10^{-6}} = 0.55 \text{ V}$$

El canvi de secció es realitza just després de la sortida de l'inversor (amb cable de 4 mm² com indica el fabricant) al mateix interruptor magnetotèrmic.

El següent tram (d'uns 150 m), que va des de la sortida del quadre de proteccions de CA fins al punt de connexió a la xarxa, ha de tenir una secció de 185 mm² segons el criteri de màxima cdt (1,5 %).

Així, la cdt d'aquest tram segons avaluant l' Eq 2.2.8:

$$V_{a-b} = \sqrt{3} \frac{\rho \cdot L \cdot I}{S} = \sqrt{3} \cdot \frac{2.2 \cdot 10^{-8} \cdot 100 \cdot 18.2}{185 \cdot 10^{-6}} = 3.75 \text{ V}$$

Per tant la cdt total serà:

$$V_{a-b} (\text{CA}) = 0.55 + 3.75 = 4.3 \text{ V}$$

Que suposa una cdt de inferior a l'1,5 %, com es mostra a continuació:

$$\Delta V(\%) = \frac{V_{a-b}}{V_l} = \frac{4.3 \text{ V}}{400 \text{ V}} \cdot 100 = 1.08 \% \leq 1.5\%$$

De la mateixa manera que s'ha calculat pel costat de CC, la pèrdua de potència i la potència real dels inversors, tenint en compte les pèrdues del cablejat de CA, són:

$$P_{\text{perd}} = P_{\text{inv}} \cdot \frac{1.08}{100} = 100000 \cdot 0.0108 = 1080 \text{ W}$$

De manera que la potència dels inversors, descomptant les pèrdues del cablejat de Ca, és:

$$P_{\text{pic definitiva}} = 100000 - 1080 = 98920 \text{ W}$$

2.2.3.6. Càlcul de pèrdues

Hi ha diversos motius pels quals pot disminuir el rendiment d'un sistema fotovoltaic i es classifiquen de la següent manera:

- Pèrdues per inclinació i orientació (P1).
- Pèrdues per ombres (P2).
- Pèrdues elèctriques (P3).
- Pèrdues per temperatura (P4).
- Pèrdues per brutícia (P5).
- Pèrdues per degradació fotònica (P6).
- Pèrdues per rangs de potència diferents dels mòduls fotovoltaics (P7).

2.2.3.6.1. Pèrdues per inclinació i orientació

Els panells fotovoltaics estan orientats mirant cap al Sud, i per tant les pèrdues per orientació són nul·les.

L'obtenció manual del valor de les pèrdues per la diferència d'inclinació dels panells respecte a l'òptima, s'aconsegueix mitjançant les expressions del Plec de condicions tècniques de instal·lacions connectades a la xarxa del IDAE, que es mostren a continuació:

$$\text{Pèrdues (\%)} = 100 [1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \varphi + 10)^2] \quad \text{per } \beta \leq 15^\circ \quad (\text{Eq 2.2.9})$$

On:

β : inclinació.

φ : latitud (tots en graus)

Avaluant l' Eq 2.2.9 s'obté unes pèrdues del:

$$\text{Pèrdues (\%)} = 100 [1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (10 - 41.41 + 10)^2] = 5.4 \%$$

2.2.3.6.2. Pèrdues per ombrejat

No hi ha elements exteriors a la nau que generin ombres sobre els mòduls, i aquests no es generen ombres entre ells degut a la seva disposició en paral·lel a la coberta.

Per tant, les pèrdues per ombrejat són nul·les.

2.2.3.6.3. Pèrdues elèctriques

El rendiment de l'inversor indicat a la seva fulla de característiques és el que es prendrà per assignar el percentatge de pèrdues elèctriques. És preferible considerar l'eficiència europea i no la màxima ja que així es tenen en compte unes condicions de funcionament més pròximes a les reals.

El valor de l'eficiència europea és del 95,9 % de manera que les pèrdues degudes a l'inversor són del 4,1 %.

Les pèrdues degudes al cablejat de CC entre els panells i els inversors, calculades anteriorment, són del 1,37 %.

Les pèrdues degudes al cablejat entre els inversors i el punt de connexió, també calculades amb anterioritat, són del 1,08 %.

Les pèrdues dels elements de unió, proteccions, etc. són molt petites i no es consideren.

Per tant, el total de pèrdues degudes a la instal·lació elèctrica és la suma de les anteriors:

Pèrdues del cablejat de CC: 1,34 %

Pèrdues dels inversors: 4,10 %

Pèrdues del cablejat de CA: 1,08 %

TOTAL de pèrdues elèctriques: 6,52 %

2.2.3.6.4. Pèrdues per temperatura

Els valors de tensió, intensitat i potència indicats pel fabricant estan referits a les condicions estàndard de mesura, normalment diferents a les que es donen a la realitat. Les pèrdues degudes a l'efecte de la temperatura es poden quantificar calculant la temperatura real de treball de la cèl·lula, pel que es pot utilitzar la següent expressió proposada pel Plec de condicions tècniques de l'IDAE:

$$T_c = T_{amb} + E \frac{(TONC - 20)}{800} \quad (\text{Eq 2.2.10.})$$

On:

T_c (° C): temperatura real de treball de la cèl·lula.

T_{amb} (° C): temperatura ambient.

E (W/m²): Irradiància solar.

TONC (° C): Temperatura Normal d'Operació de la Cèl·lula, donada una irradiància de 800 W/m², un temperatura ambient de 20° C i una velocitat del vent de 1m/s.

En aquest cas la TONC indicada pel fabricant a la fulla de característiques del mòdul és de 47 ± 2 .

Com a valor de la temperatura ambient, es considera el valor corresponent a la temperatura mitjana de La Garriga.

Com a valor de irradiància, es pren el valor de la intensitat mitjana útil sobre una superfície horitzontal, d'un dia mitjà de cada mes. Aquest valor s'ha corregit mitjançant el factor corrector per superfícies inclinades. Aquest factor de correcció depèn de la latitud, el mes i la inclinació de les plaques.

El coeficient de variació de la potència amb la temperatura (de la fixa tècnica dels panells) és:

$$T_k(P_n) = - 0.44 \% / ^\circ\text{C}$$

Amb tota aquesta informació s'exposa la següent taula (figura 2.2.20.):

Taula de pèrdues per temperatura segons època de l'any								
MES	Tamb (°C)	E (0°) (W/m²)	Factor K	E (10°) (W/m²)	Tc (°C)	ΔP ±(W)	P (W) Tc real	Pèrdua de P (%)
Gener	8	166	1,14	189,24	14,39	6,915	286,915	-2,47
Febrer	8	222	1,12	248,64	16,39	4,446	284,446	-1,59
Març	12	333	1,09	362,97	24,25	-5,236	274,764	1,87
Abril	14	500	1,06	530	31,89	-14,65	265,355	5,23
Maig	18	583	1,03	600,49	38,27	-22,5	257,496	8,04
Juny	23	666	1,02	679,32	45,93	-31,94	248,058	11,41
Juliol	25	694	1,03	714,82	49,13	-35,88	244,118	12,82
Agost	25	666	1,06	705,96	48,83	-35,51	244,486	12,68
Setembre	21	486	1,1	534,6	39,04	-23,46	256,539	8,38
Octubre	17	347	1,15	399,05	30,47	-12,9	267,104	4,61
Novembre	12	220	1,18	259,6	20,76	-0,938	279,062	0,34
Desembre	8	180	1,17	210,6	15,11	6,027	286,027	-2,15
MITJANA ANUAL								4,93

Figura 2.2.20. Resultats de la potència perduda per temperatura i valors utilitzats en el procés

Nota: les pèrdues amb valor negatiu són guanys.

Per tant les pèrdues tèrmiques anuals són del 4.93 %.

2.2.3.6.5. Pèrdues per brutícia dels mòduls

En condicions normals de manteniment, les pèrdues per brutícia sobre els panells són aproximadament del 1 %.

2.2.3.6.6. Pèrdues per degradació fotònica

Aquestes pèrdues són degudes al procés de degradació que experimenten totes les cèl·lules de silici cristal·lí exposades per primer cop a la llum solar. El seu valor és aproximadament del 1 %.

2.2.3.6.7. Pèrdues per rangs de potència diferents dels panells

Sempre existeixen petites diferències (dins les toleràncies indicades pel fabricant) entre els valors de potència que poden proporcionar els mòduls d'un mateix model i fabricant. Quan aquests es connecten en sèrie, la intensitat de la cadena és la menor de tots els panells que componen aquesta sèrie, produint-se així una petita pèrdua de potència.

Per minimitzar aquest efecte, els panells porten un adhesiu que indica la intensitat del mòdul, de manera que aquests es classifiquen i s'agrupen per intensitats similars.

En el cas d'estudi, el rang de variació de potència segons indica el fabricant, és de $\% 3 \pm$, o sigui que es pot prendre un valor de pèrdues per dispersió aproximat de l'1 %.

2.2.3.6.8. Resum de pèrdues

Les pèrdues estudiades anteriorment, es recullen a la següent taula (figura 2.2.21) :

Resum de pèrdues.									
MES	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	PT	PR
Gener	5,4	0	6,52	-2,47	1	1	1	12,45	87,55
Febrer	5,4	0	6,52	-1,59	1	1	1	13,33	86,67
Març	5,4	0	6,52	1,87	1	1	1	16,79	83,21
Abril	5,4	0	6,52	5,23	1	1	1	20,15	79,85
Maig	5,4	0	6,52	8,04	1	1	1	22,96	77,04
Juny	5,4	0	6,52	11,41	1	1	1	26,33	73,67
Juliol	5,4	0	6,52	12,81	1	1	1	27,73	72,27
Agost	5,4	0	6,52	12,68	1	1	1	27,6	72,4
Setembre	5,4	0	6,52	8,39	1	1	1	23,31	76,69
Octubre	5,4	0	6,52	4,61	1	1	1	19,53	80,47
Novembre	5,4	0	6,52	0,34	1	1	1	15,26	84,74
Desembre	5,4	0	6,52	-2,16	1	1	1	12,76	87,24
MITJANA ANUAL									80,15

Figura 2.2.21. Resum de pèrdues (en %) i valors del Performance Ratio calculat per cada mes.

PR: Performance Ratio o eficiència de la instal·lació en condicions reals de funcionament, que té en compte, entre d'altres factors:

La dependència de l'eficiència amb la temperatura.

L'eficiència del cablejat.

Les pèrdues per dispersió de paràmetres de brutícia.

L'eficiència energètica de l'inversor.

El PR l'utilitzaré en el càlcul de la producció anual esperada.

2.2.4. Justificació de la solució adoptada

2.2.4.1. Tipus de tecnologia fotovoltaica escollida

El silici utilitzat normalment a la fabricació de les cèl·lules fotovoltaïques que componen els mòduls es presenta, en general, en tres formes diferents:

- Silici monocristal·lí: el silici es compon de cristalls amb la mateixa orientació. La xarxa cristal·lina és uniforme, és la mateixa en tot el material i té poques imperfeccions. El procés de cristallització és complex i costós, però és el que proporciona la major eficiència de conversió de llum en energia elèctrica.
- Silici policristal·lí: els cristalls que el componen no tenen la mateixa orientació. El procés de cristallització no és tant costós com l'anterior i per aquest motiu els mòduls són una mica més barats, però tenen un rendiment lleugerament inferior.
- Silici amorf: com bé indica el seu nom, no té xarxa cristal·lina. El rendiment que se n'obté és inferior respecte als de xarxa cristal·lina però és menys costós, menys vulnerable als ombrejats parcials, té un millor comportament amb llum difusa i menors pèrdues per augment de temperatura. Es venen en mòduls rígids, però també com a làmines fines flexibles.

A continuació es mostra una taula resum amb els rendiments i la superfície necessària per generar 1 kW, per les tres tecnologies (Figura 2.2.22):

TIPUS DE CÈL·LULA	EFICIÈNCIA DEL MÒDUL	SUPERFÍCIE NECESSÀRIA PER 1 KW
Monocristal·lí	11-16 %	7-9 m ²
Policristal·lí	8-10 %	9-11 m ²
Amorfa	4-7 %	16-20 m ²

Figura 2.2.22. Diferències de rendiment i superfície necessària entre les tres tecnologies.

En realitat, el tipus de mòdul que s'esculli no és ni millor ni pitjor que un altre, simplement la inversió és proporcional ja que els mòduls són els elements més cars de la instal·lació i les seves eficiències van més o menys en concordança amb els seus preus.

En el cas que s'estudia, s'han escollit mòduls amb cèl·lules monocristal·lines per poder produir 100 kW amb la superfície d'una vessant de la coberta, i tenir espai lliure suficient per la bona evacuació d'aigua de pluja i el trànsit de les persones en cas d'averia o manteniment.

2.2.4.2. Justificació de les pèrdues produïdes per culpa de la inclinació dels mòduls

Quan es dissenya una instal·lació fotovoltaica s'han de minimitzar les pèrdues al màxim perquè la inversió sigui el més rentable possible. No obstant, hi ha ocasions en que és convenient adoptar una solució de compromís i assumir determinades pèrdues de producció per tal d'evitar altres problemes.

La col·locació dels mòduls amb una inclinació òptima sobre la coberta d'una nau industrial d'aquestes característiques, pot ocasionar problemes d'estanquitat en pocs anys, produint filtracions d'aigua. Per bo que sigui el sistema de fixació de la subestructura a la coberta, degut a la gran quantitat de cicles de càrrega de tracció-compressió als que es veu sotmès, pot acabar deteriorant-se.

A més l'acció del vent genera esforços molt importants sobre la coberta. Si els plafons es col·loquen a una certa inclinació respecte la coberta, actuen com a vela incrementant molt l'acció del vent.

Un altre aspecte a tenir en compte és el possible ombrejat que es puguin fer unes plaques a altres si aquestes estan inclinades. Ja que no es disposa de molt espai a la coberta per la col·locació dels plafons s'ha optat a col·locar-les paral·lelament a la coberta evitant també les pèrdues per ombres.

2.2.4.3. Inversor central o diversos inversors

L'element clau de la instal·lació és l'inversor. Ha de ser un inversor especialment dissenyat per la connexió a xarxa, ja que a més de la funció de convertidor CC - CA, és el responsable de que l'acoblament entre el circuit de panells i la xarxa sigui perfecte, segur i eficient.

La seguretat constitueix el factor més important en una instal·lació de connexió a xarxa, i no només pels usuaris de la pròpia instal·lació, sinó també per altres persones que puguin tenir accés a la xarxa per al seu manteniment. De fet, quan la companyia talla momentàniament el servei per realitzar tasques de manteniment, en cap cas es pot permetre que les possibles instal·lacions d'energia solar que hi estiguin connectades segueixin injectant corrent, degut al perill que això comportaria pels operaris. L'inversor ha de detectar immediatament l'absència de tensió a la xarxa i tallar el subministrament dels panells en microsegons, aïllant ambdós circuits. Això requereix també una constant monitorització del senyal de xarxa per detectar també altres possibles anomalies.

A l'hora d'escollir el tipus d'inversor s'han de tenir en compte diversos aspectes:

- La potència de la instal·lació.
- Si la orientació i la inclinació dels mòduls és la mateixa.
- El possible ombrejat i si afecta o no a tots els mòduls de la mateixa manera.
- La disponibilitat d'un lloc especialment destinat a la ubicació d'un inversor de grans dimensions.

En principi, un únic inversor és una solució més econòmica que un grup de inversors de potència equivalent. No obstant, hi ha certs avantatges i inconvenients en cada cas que s'han de considerar.

2.2.4.3.1. Un únic inversor.

Avantatges:

- Menor inversió econòmica.
- Té una estructura robusta.

- Es poden obtenir potències de la planta de l'ordre de MW.

Inconvenients:

- Un únic inversor de 100 kW pot pesar uns 800 kg i ha d'estar a un lloc sense calefacció, ventilat i resguardat de la intempèrie.
- El transport d'un inversor d'aquestes dimensions és una mica delicat. Es necessita un camió grua per al transport i maquinària amb certa potència però de petites dimensions per poder-lo entrar dins el recinte de la nau on es pretengui ubicar. En aquest procés s'han de prendre moltes precaucions ja que els components electrònics del seu interior són bastant sensibles a cops i vibracions i podrien deteriorar-se.
- En cas d'averia de l'inversor, el temps que trigui el fabricant a recollir-lo, arreglar-lo i tornar-lo a posar en funcionament, pot suposar uns quants dies sense generació d'energia i costos de manteniment considerables.
- Es requereixen les mateixes o similars condicions de insolació per tots els mòduls que formen el generador fotovoltaic, que té certa vulnerabilitat a l'ombrejat parcial de les cadenes que el formen. (tot i que en el nostre cas aquest aspecte no és molt important).

2.2.4.3.2. Diversos inversors en cadena

Avantatges:

- Instal·lació senzilla i descentralitzada de l'inversor.
- Es pot prescindir de la CCG.
- També es poden obtenir grans potències amb aquest sistema.
- Cada subgenerador admet diferents condicions de insolació (orientació, inclinació i ombrejat).
- Les cadenes només s'acoblen i connecten a la xarxa pel costat de CA, de manera que cada una forma una unitat pròpia i completa d'alimentació a la xarxa.

- Pot ser bastant pràctic, depenent de la grandària de la instal·lació, disposar d'un inversor addicional de reserva. Així, en cas d'averia, es pot substituir l'inversor afectat.

Inconvenients:

- Major inversió econòmica.
- Dins d'una mateixa cadena de mòduls, les condicions de insolació (orientació, inclinació i ombrejat) han de ser iguals ja que si per exemple una ombra afecta a un sol panell, la generació de tota la cadena es veu sèriament afectada. Això es deu a que els mòduls d'una mateixa cadena estan connectats en sèrie i les cèl·lules de cada mòdul també, encara que hi ha dispositius com els díodes by-pass que precisament disminueixen aquest efecte.
- Per al cas que s'estudia, tots els mòduls tenen la mateixa orientació i inclinació, no hi ha ombres provocades per elements externs pròxims a la coberta (com arbres, edificis, etc.), no es disposa d'un lloc especial per a la ubicació d'un inversor de grans dimensions, i la potència que es vol obtenir és moderada.
- Per tots aquests motius i per les característiques explicades anteriorment, s'ha escollit un sistema amb diversos inversors en cadena.

2.2.5. Producció anual esperada

El càlcul de la producció anual esperada es realitza segons les indicacions del Plec de condicions tècniques de l'IDAE, mitjançant la següent expressió:

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{mp} \cdot PR}{G_{cem}} \quad (\text{Kw} \cdot \text{h}/\text{dia}) \quad (\text{Eq 2.2.11.})$$

On:

E_p : energia injectada a la xarxa;

$G_{dm}(\alpha, \beta)$: valor mitjà anual de la irradiació diària sobre el pla del generador ($\text{KW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$), on α és l'angle azimutal i β la inclinació dels panells;

P_{mp} : potència pic del generador;

PR: performance ratio;

G_{cem} : 1 kW/m²;

G_{dm} (0 : valor mitjà mensual i anual de la irradiació diària sobre una superfície horitzontal (kW·h/(m²·dia)).

Amb aquestes dades s'obté la següent taula (figura 2.2.23):

MES	G_{dm} (0°) kW·h/m ² dia	Factor K	G_{dm} ($\alpha=0^\circ, \beta=10^\circ$) kW·h/m ² dia	PR	P_{pic} (kW)	E_p (kW·h/dia)
Gener	1,66	1,14	1,89	0,876	100,8	158,73
Febrer	2,22	1,12	2,49	0,867	100,8	200,13
Març	3,33	1,09	3,63	0,832	100,8	281,87
Abril	5	1,06	5,3	0,799	100,8	393,57
Maig	5,83	1,03	6	0,77	100,8	437,45
Juny	6,66	1,02	6,79	0,737	100,8	495,76
Juliol	6,94	1,03	7,15	0,723	100,8	552,58
Agost	6,66	1,06	7,06	0,724	100,8	572,63
Setembre	4,86	1,1	5,35	0,767	100,8	456,64
Octubre	3,47	1,15	3,99	0,805	100,8	350,92
Novembre	2,2	1,18	2,6	0,847	100,8	221,74
Desembre	1,8	1,17	2,11	0,872	100,8	185,2
MITJANA	4,22		4,53	0,802		358,94
ANUAL	50,63		54,35			4307,22

Figura 2.2.23. Resultats de l'energia produïda cada mes i valors utilitzats en el procés.

La producció anual serà = 131355,72 kW·h

3.2.6. Estructura de suport dels panells fotovoltaics

Tota la subestructura, tant perfils com peces de unió, s'han dissenyat a partir de productes de Schletter, una marca alemanya amb gran experiència en aquest camp.

Com s'ha comentat anteriorment, els panells es disposen paral·lelament a la coberta mitjançant perfils d'alumini, i es subjecten amb uns "clips" com els que es mostren a la figura 2.2.24:



Figura 2.2.24. Peces extremes (esquerra) i interiors (dreta), que subjecten els panells sobre els perfils d'alumini.

Cada panell està fixat mitjançant quatre "clips" (dos a cada costat) o abraçadores. Aquests es col·loquen sobre els perfils d'alumini, i es subjecten mitjançant cargols M8x35 d'acer inoxidable muntats amb la femella a la part de sobre (perquè es puguin cargolar).

Els perfils d'alumini utilitzats com a suport dels panells són els que es mostren a la figura 2.2.25:

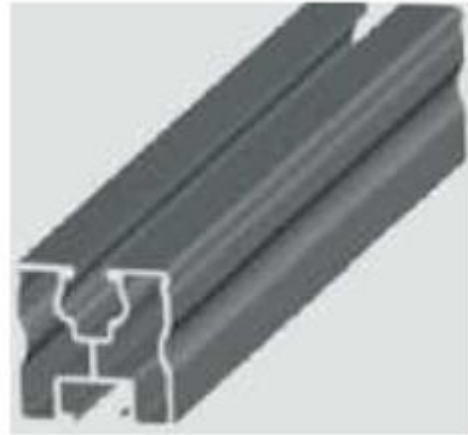
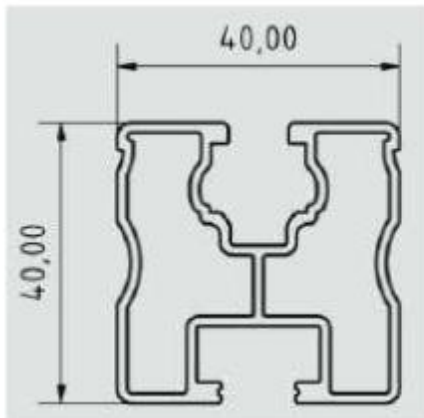


Figura 2.2.25. Perfil d'alumini de la subestructura de suport dels panells.

Aquests perfils es fixen sobre unes peces especialment dissenyades per aquest tipus d'estructures mitjançant cargols M10.

Les peces que fixen els perfils sobre la greca de la coberta s'anomenen Fix 2000 i a continuació es mostra l'aspecte que tenen i com es munten (figura 2.2.26)

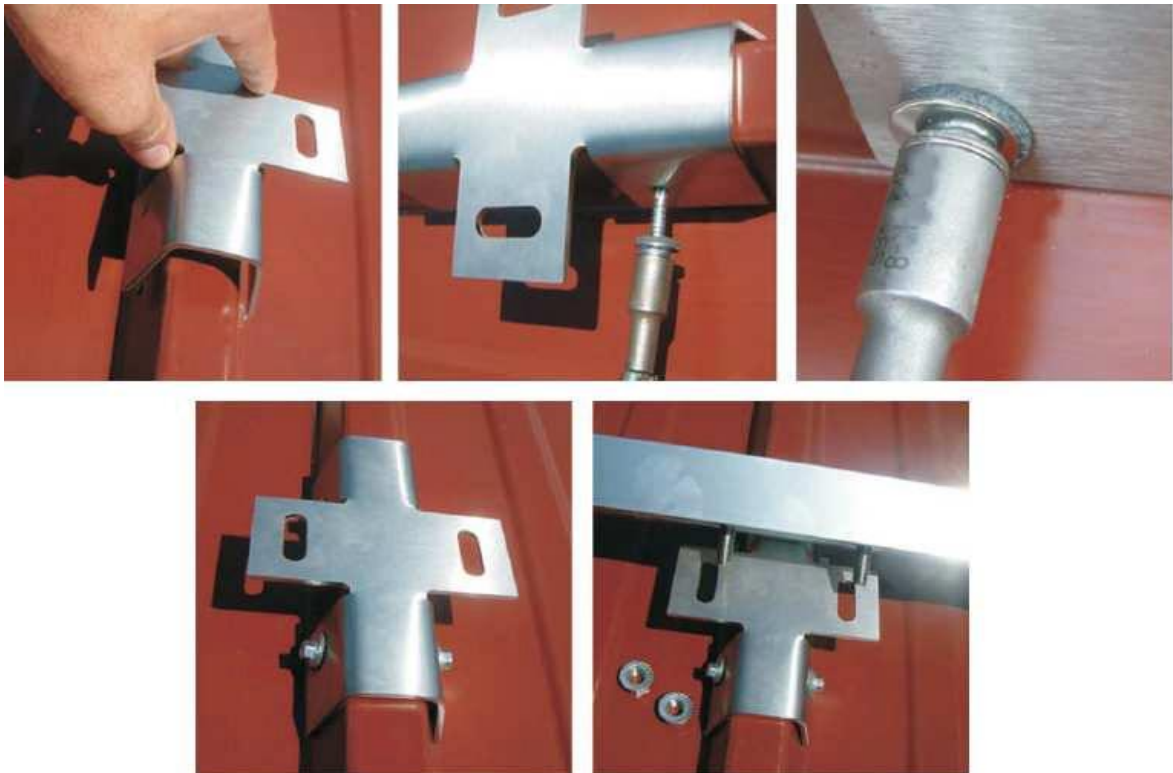


Figura 2.2.26. Fixació Fix2000 de Schletter per aguantar els perfils de la subestructura sobre la coberta

La fixació Fix 2000 es fixa a la greca de la coberta mitjançant cargols autoroscants (inclosos al lot d'entrega).

És molt recomanable, que per evitar pèrdues d'estanquitat es posin tires de cautxú EPDM 1 entre la peça Fix2000 i la greca, i també en els punts de recolzament dels perfils sobre la coberta (on no hi ha peça de fixació), com es mostra a la figura 2.2.27:

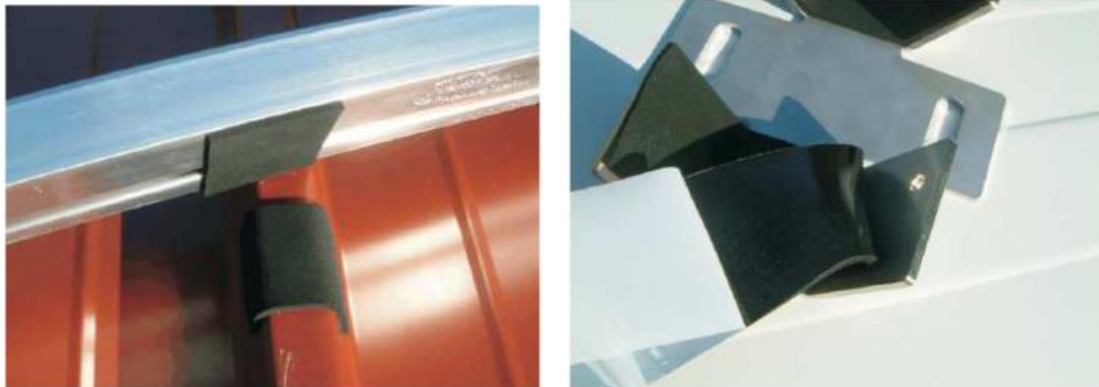
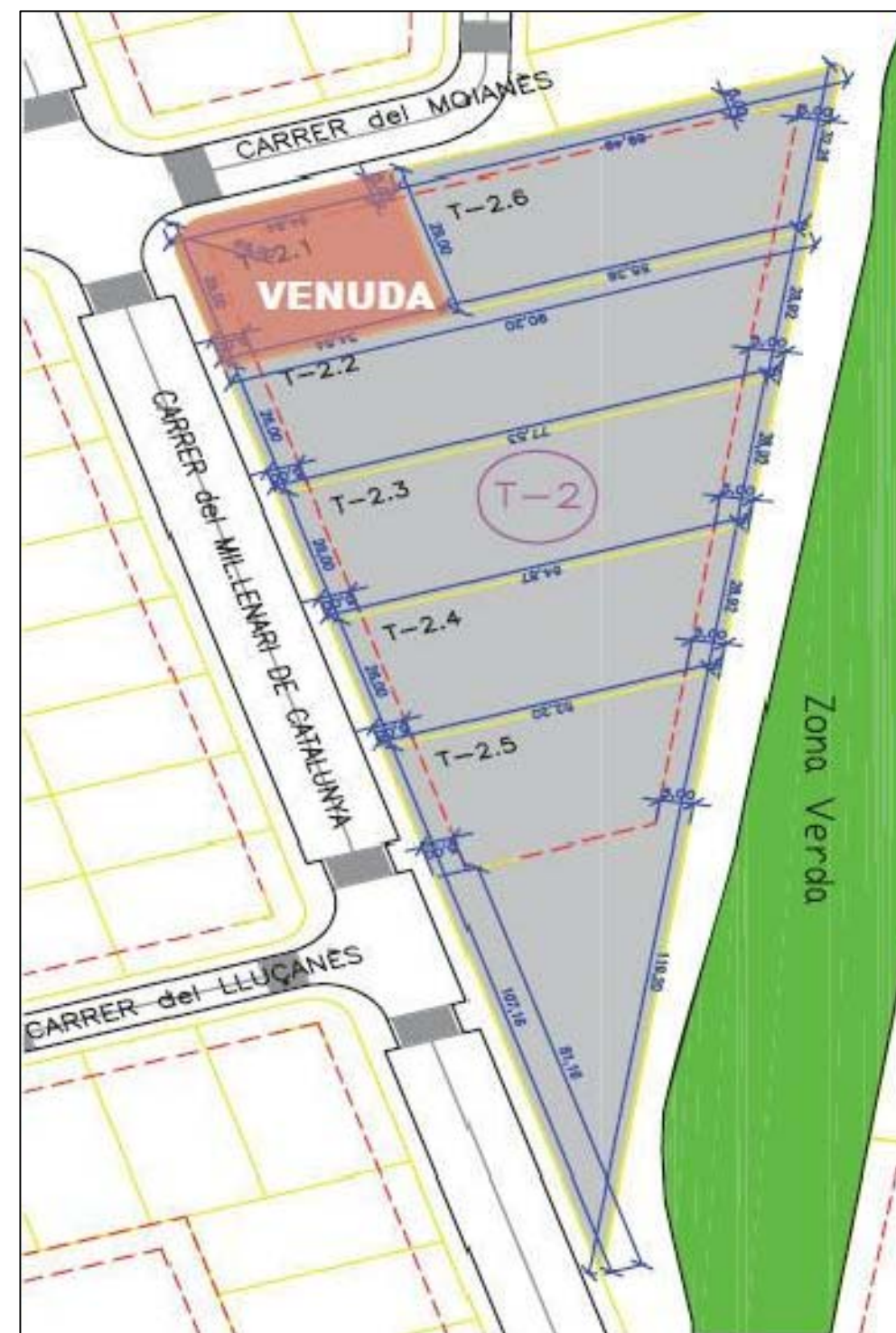


Figura 3.2.8.4. 5 Tires de cautxú EPDM per suavitzar contactes (esquerra) i per evitar filtracions d'aigua (dreta).

3. Memòria de plànols

En aquest apartat, es poden consultar els diferents plànols de l'obra:

- Emplaçament
- Planta- fonamentació
- Planta de la nau sense tancaments
- Alçat de la nau sense tancaments
- Planta de la nau amb tancaments
- Alçat de la nau amb tancaments
- Plànol de detall de les unions i la sabata (aquest plànol comprèn les unions i la sabata calculades pel CYPE 2011)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA DE VILANOVA I LA GELTRÚ

Projecte Final de Carrera

Promoció 2007/08

Professora: Marta Musté

Data: Juny 2011

CÀLCUL DE L'ESTRUCTURA D'UNA NAU INDUSTRIAL DE L'EMPRESA TOYOTA

Plànol:
FONAMENTACIÓ
PLANTA

Escala:

-

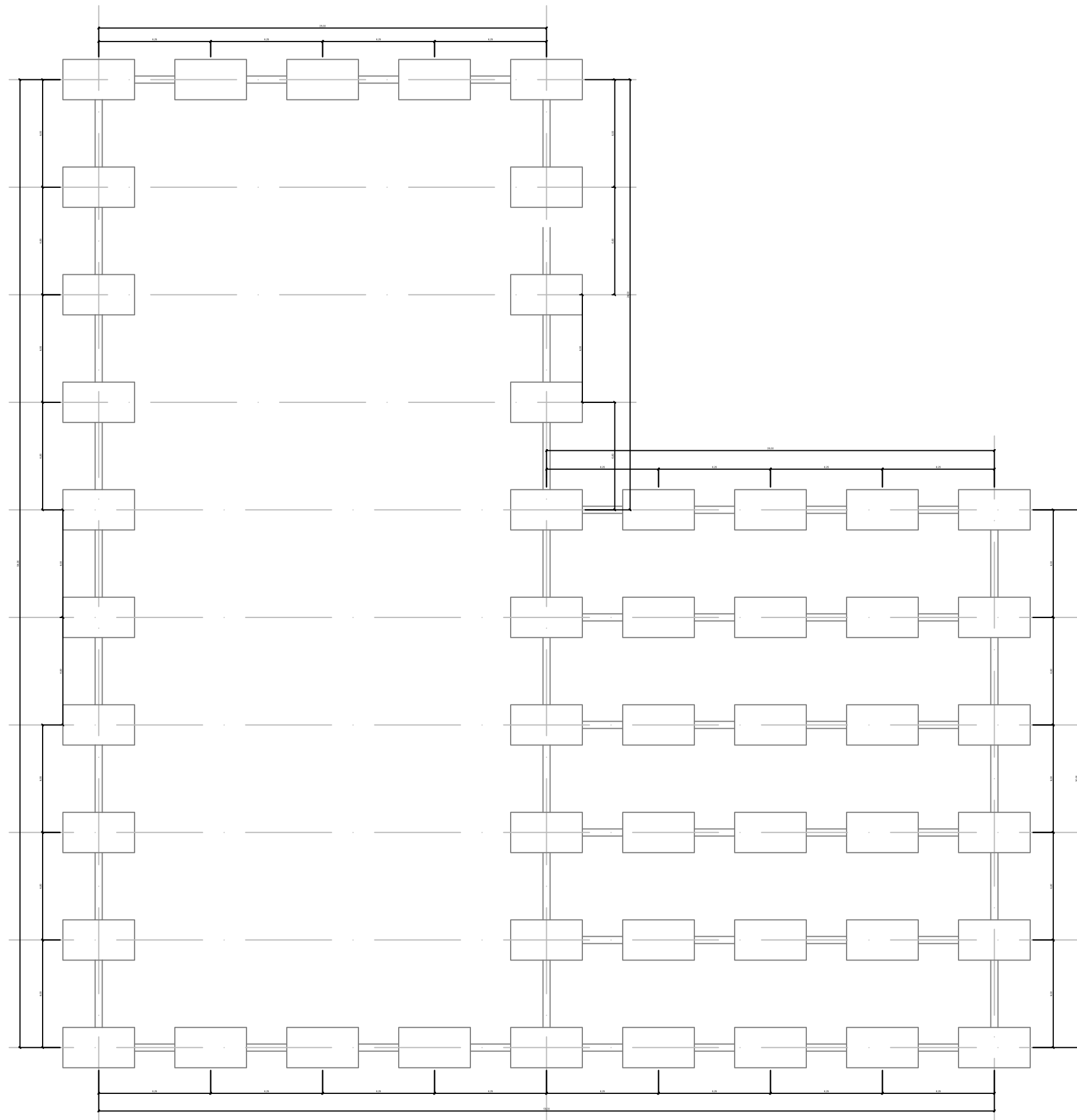
Nº plànol:

01



Alumne:

Nelson Bisbal Bellobí



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA DE VILANOVA I LA GELTRÚ

Projecte Final de Carrera

Promoció 2007/08

Professora: Marta Musté

Data: Juny 2011

CÀLCUL DE L'ESTRUCTURA D'UNA NAU INDUSTRIAL DE L'EMPRESA TOYOTA

Plànol:
FONAMENTACIÓ
PLANTA

Escala:

1/250

Nº plànol:

02



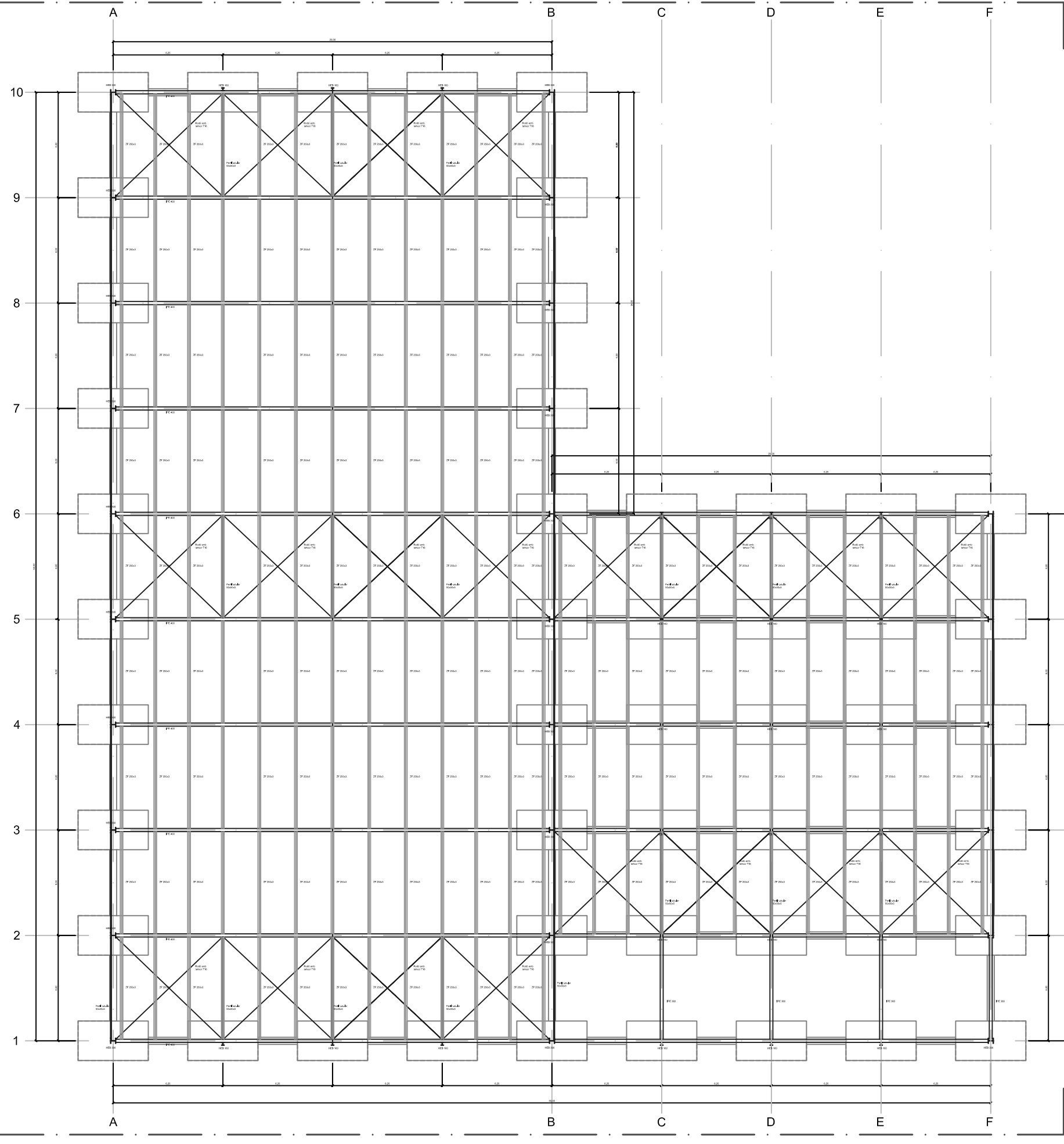
Alumne:

Nelson Bisbal Bellobí

secció 3

secció 1

secció 4



secció 2



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA DE VILANOVA I LA GELTRÚ

Projecte Final de Carrera

Promoció 2007/08

Professora: Marta Musté

Data: Juny 2011

CÀLCUL DE L'ESTRUCTURA D'UNA NAU INDUSTRIAL DE L'EMPRESA TOYOTA

Plànol:
NAU SENSE TANCAMENTS
PLANTA

Escala:

1/250

Nº plànol:

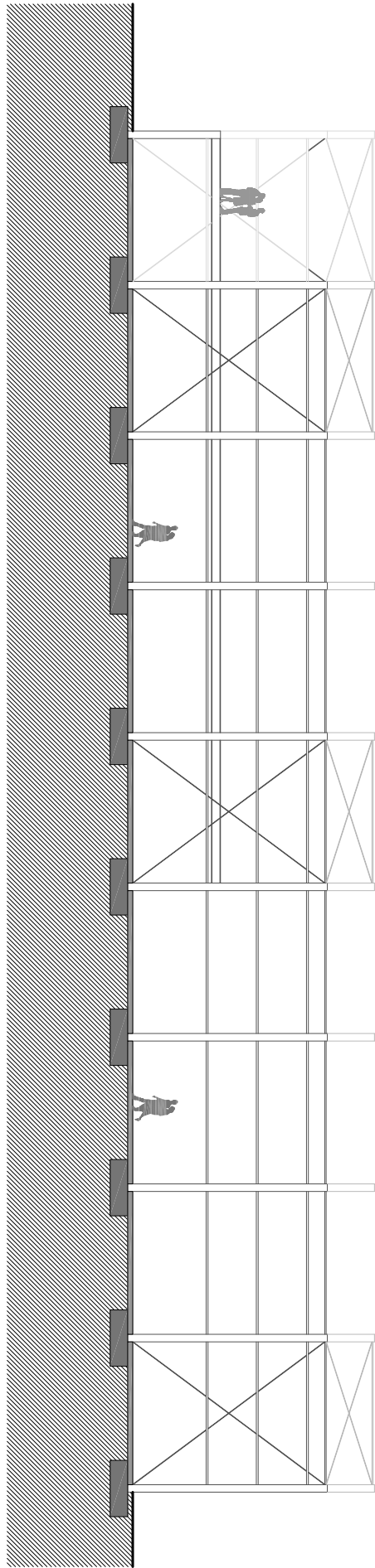
03.1



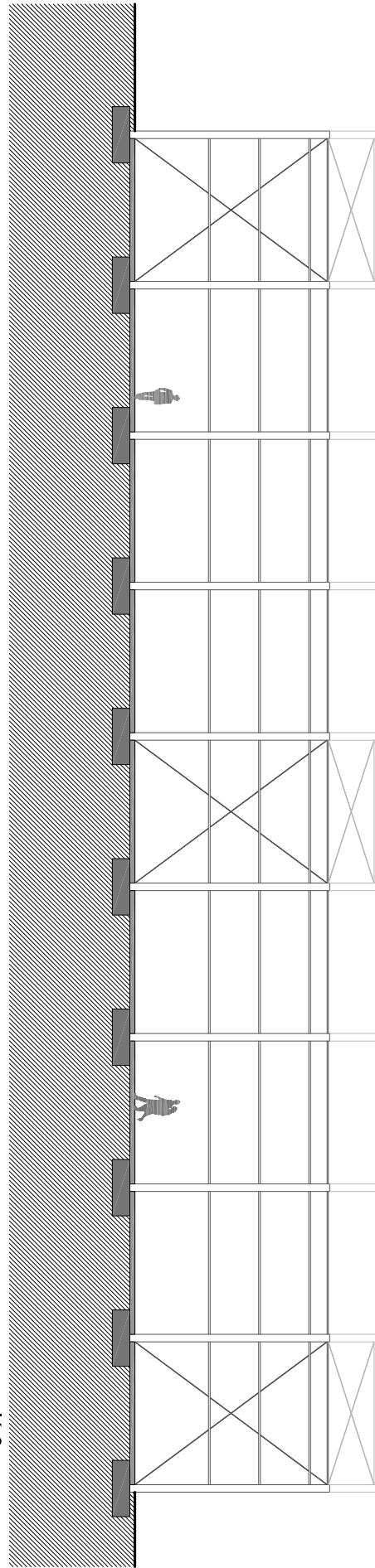
Alumne:

Nelson Bisbal Bellobí

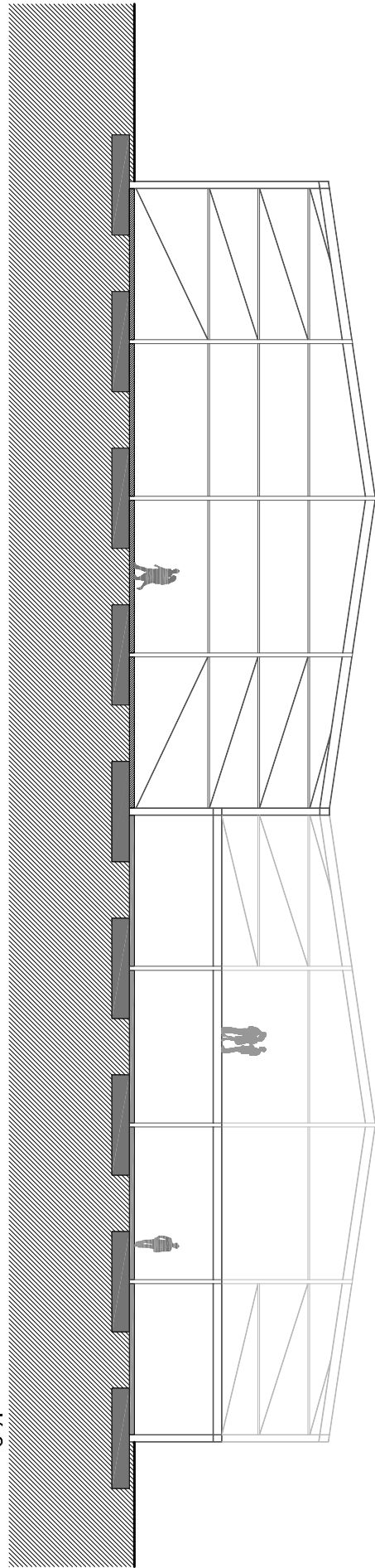
secció 4



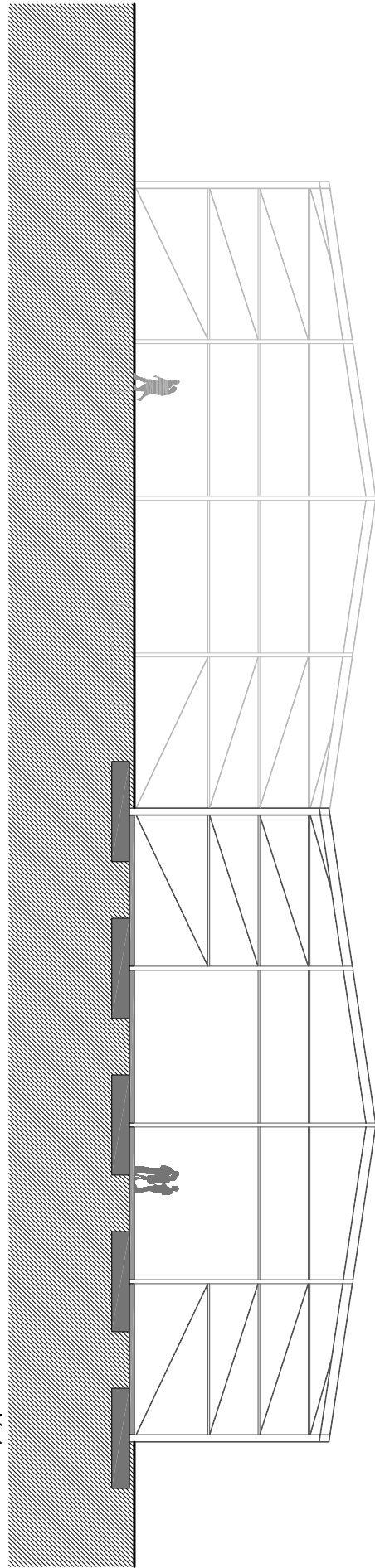
secció 3



secció 2



secció 1



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA DE VILANOVA I LA GELTRÚ

Projecte Final de Carrera

Promoció 2007/08

Professora: Marta Musté

Data: Juny 2011

CÀLCUL DE L'ESTRUCTURA D'UNA NAU INDUSTRIAL DE L'EMPRESA TOYOTA

Plànol:
NAU SENSE TANCAMENTS
ALÇAT

Escala:

1/250

Nº plànol:

04.1



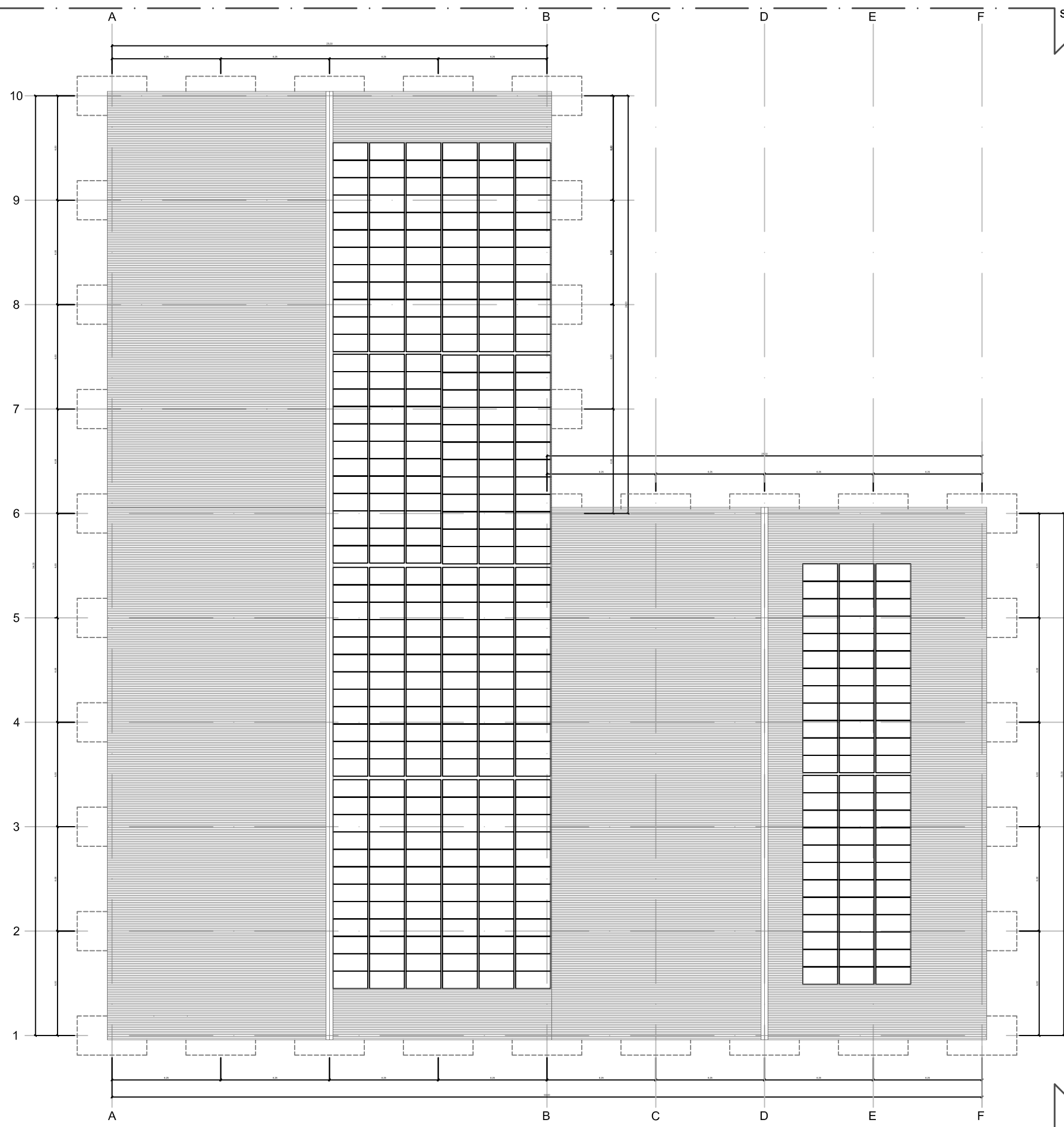
Alumne:

Nelson Bisbal Bellobí

secció 3

secció 1

secció 4



secció 2



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA DE VILANOVA I LA GELTRÚ

Projecte Final de Carrera

Promoció 2007/08

Professora: Marta Musté

Data: Juny 2011

CÀLCUL DE L'ESTRUCTURA D'UNA NAU INDUSTRIAL DE L'EMPRESA TOYOTA

Plànol:
NAU AMB TANCAMENTS
PLANTA

Escala:

1/250

Nº plànol:

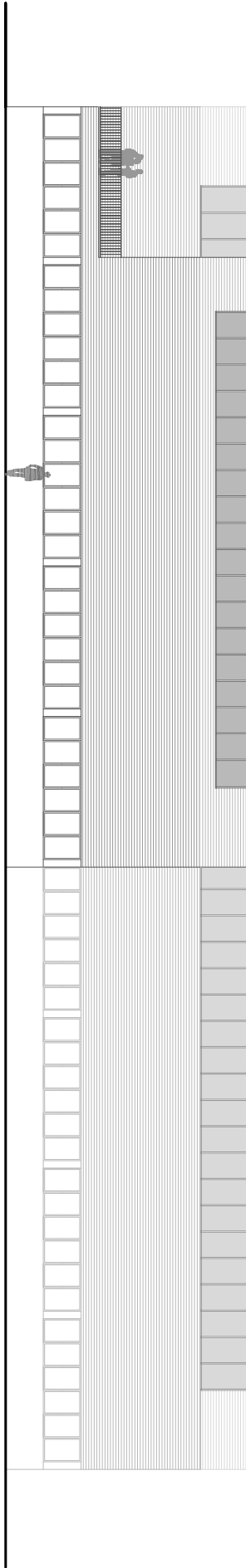
03.3



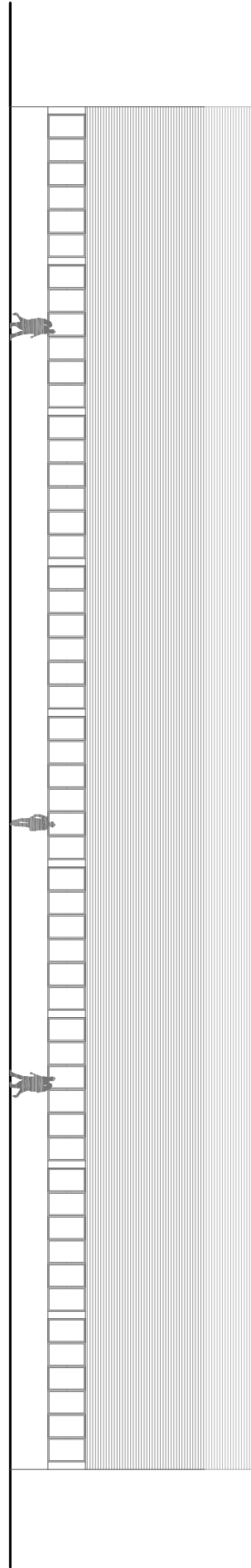
Alumne:

Nelson Bisbal Bellobí

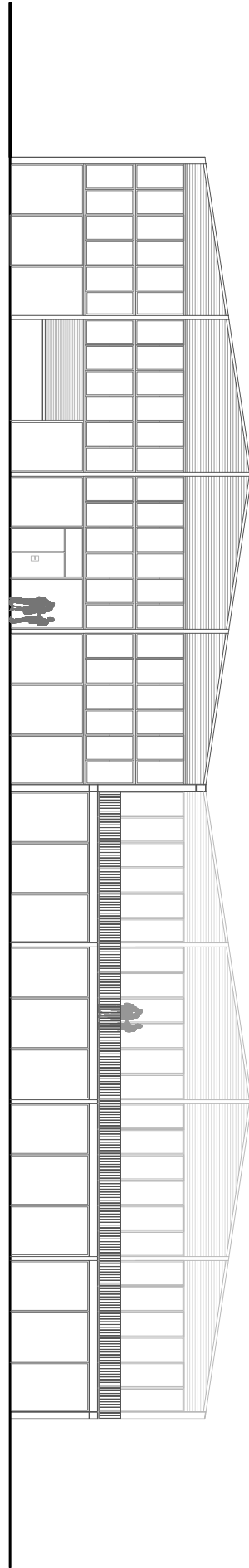
secció 4



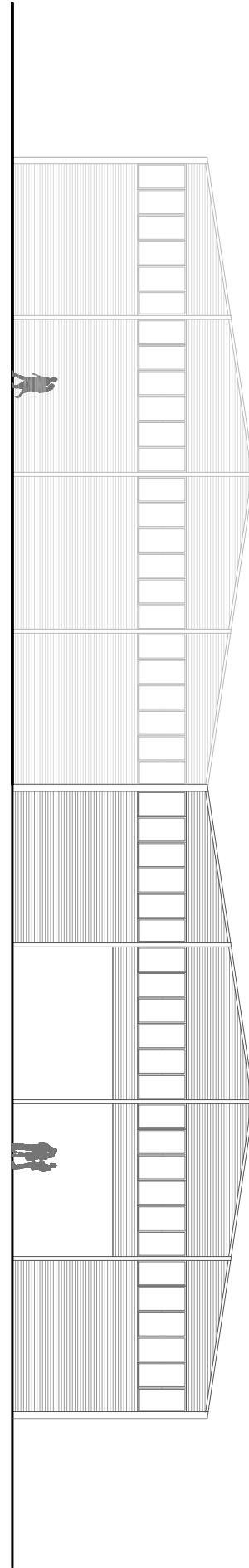
secció 3



secció 2



secció 1



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA DE VILANOVA I LA GELTRÚ

Projecte Final de Carrera

Promoció 2007/08

Professora: Marta Musté

Data: Juny 2011

CÀLCUL DE L'ESTRUCTURA D'UNA NAU INDUSTRIAL DE L'EMPRESA TOYOTA

Plànol:
NAU AMB TANCAMENTS
ALÇAT

Escala:

1/250

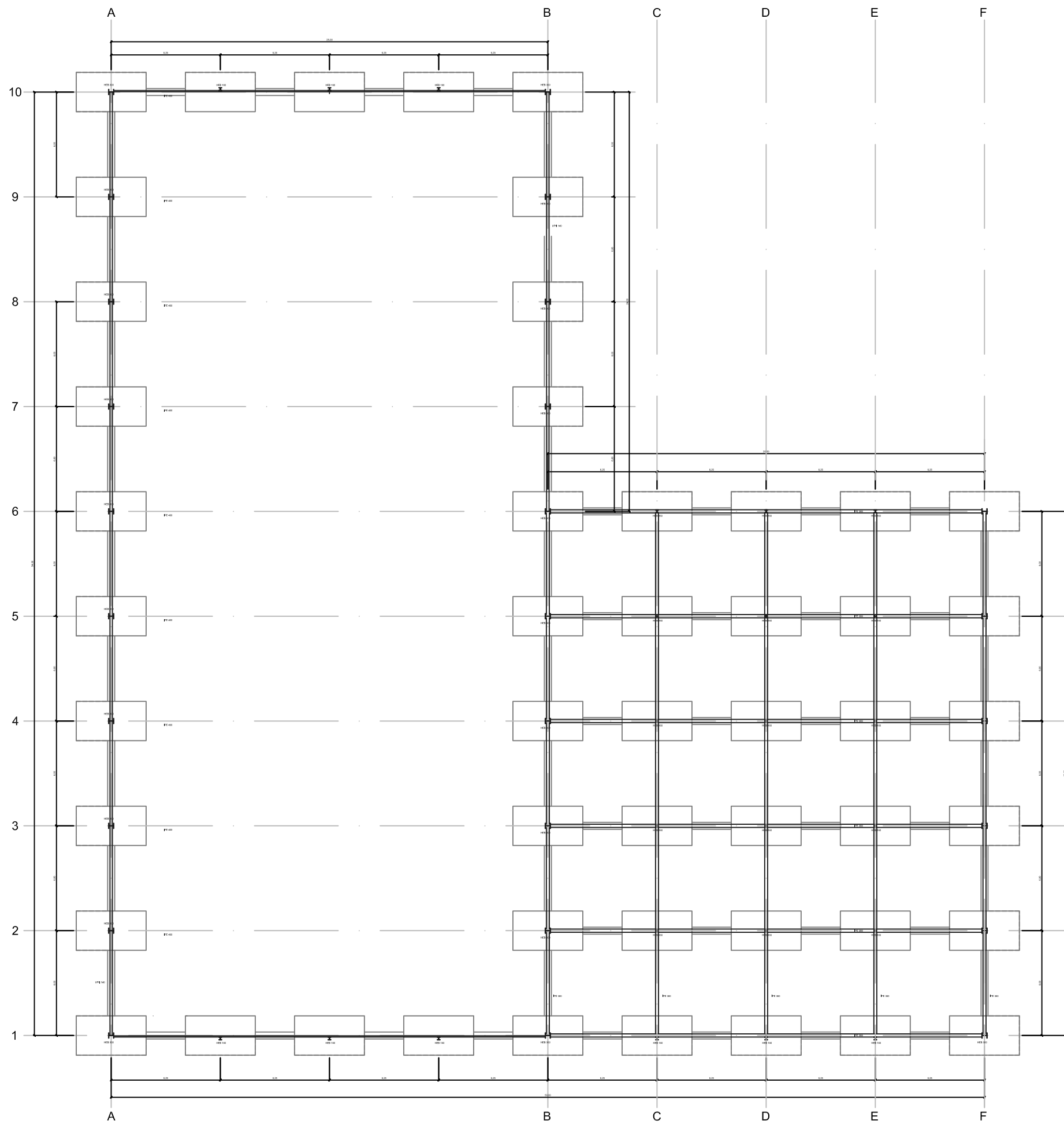
Nº plànol:

04.2



Alumne:

Nelson Bisbal Bellobí



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA DE VILANOVA I LA GELTRÚ

Projecte Final de Carrera

Promoció 2007/08

Professora: Marta Musté

Data: Juny 2011

CÀLCUL DE L'ESTRUCTURA D'UNA NAU INDUSTRIAL DE L'EMPRESA TOYOTA

Plànol:
NAU SENSE TANCAMENTS - ALTÈLL
PLANTA

Escala:

1/250

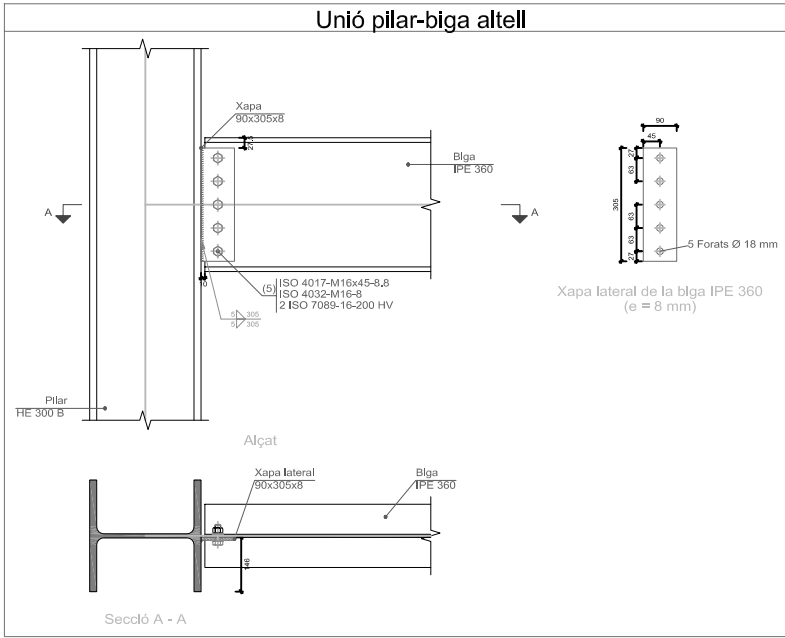
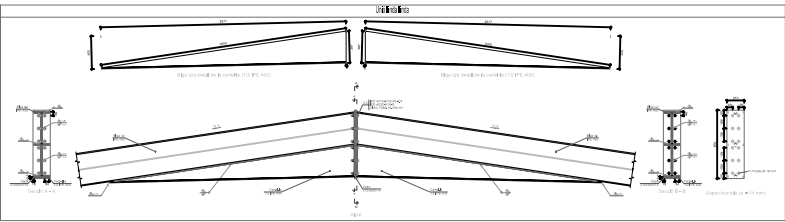
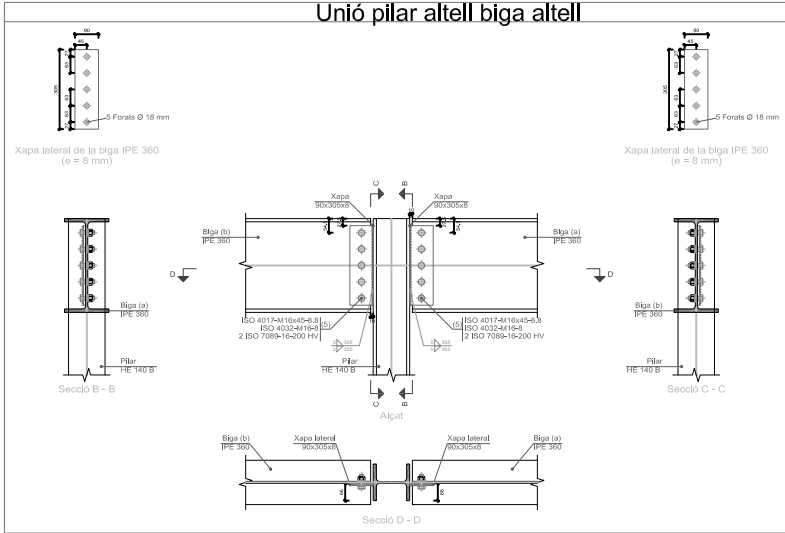
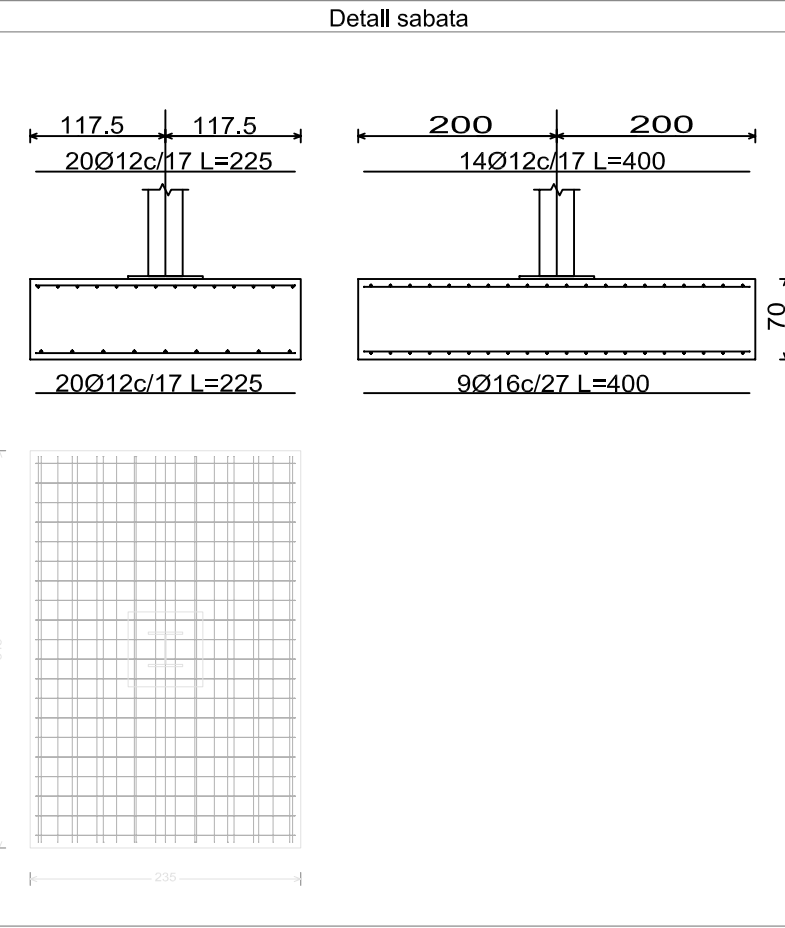
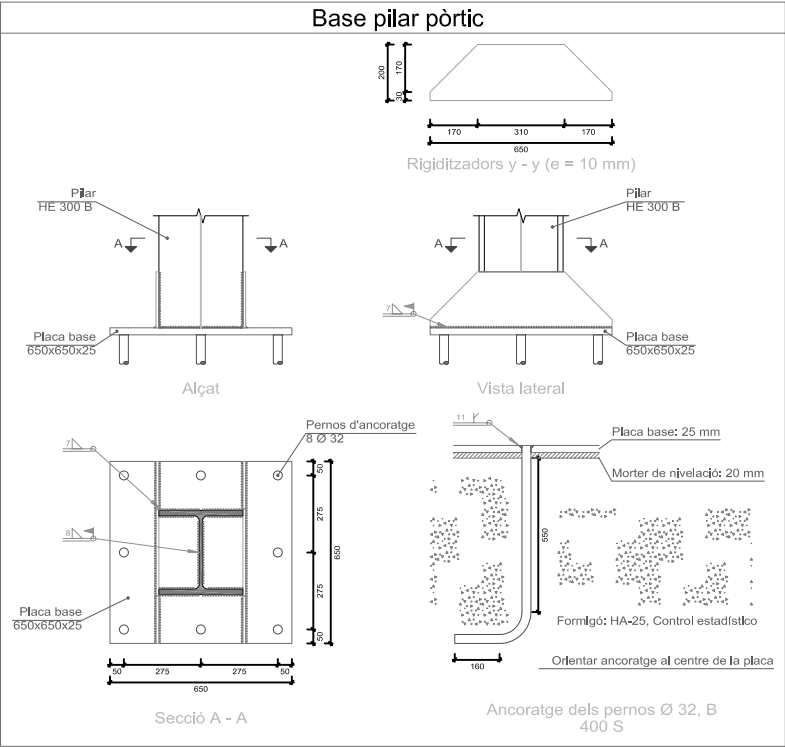
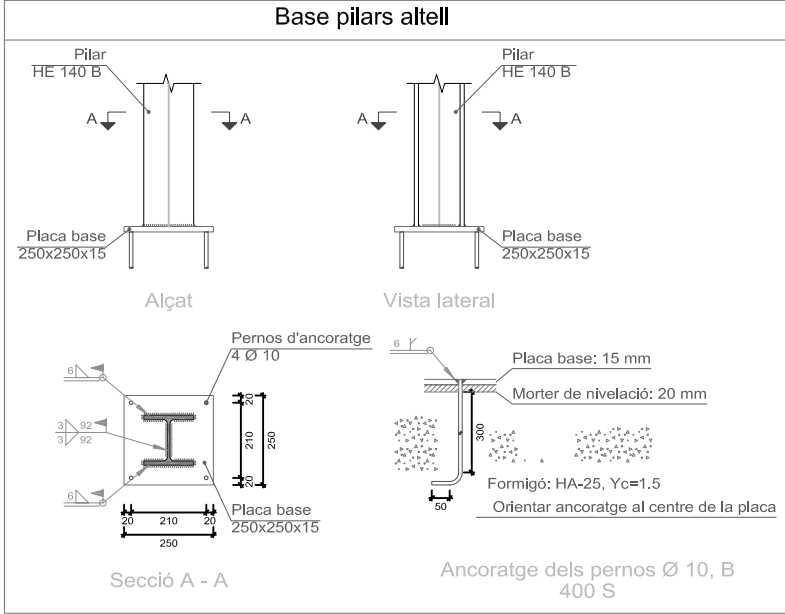
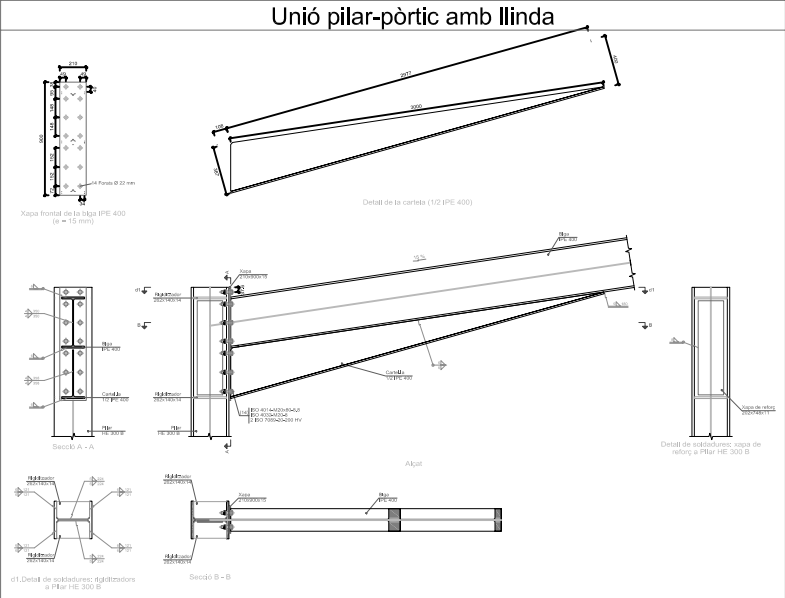
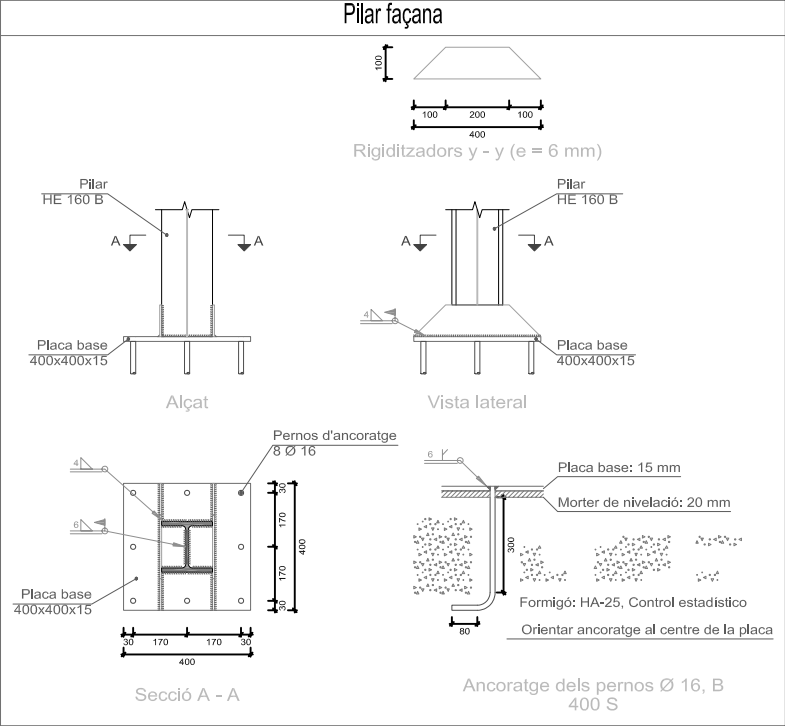
Nº plànol:

03.2



Alumne:

Nelson Bisbal Bellobí



4. Estudi impacte ambiental

Es realitzarà un estudi preventiu per a la protecció del medi ambient, serà un estudi de caràcter interdisciplinari amb l'objectiu de preveure les conseqüències que pot provocar l'execució del projecte al medi ambient i possibles mesures correctores. La normativa vigent dicta que l'autorització de projectes públics i privats que puguin tenir incidències notables al medi ambient només es podrà atorgar després de realitzar un estudi preventiu d'impacte ambiental, una avaluació sobre els efectes al medi.

El projecte té per objectiu la construcció d'una nau industrial a una parcel·la situada al polígon industrial Can Tarrés, al municipi de la Garriga, Vallès Oriental. L'estructura de la nau es realitzarà amb perfils metàl·lics i la fonamentació mitjançant sabates aïllades de formigó amb bigues de lligat.

Les fases de la construcció seran:

- Moviment de terres
- Construcció dels fonaments
- Construcció de l'estructura metàl·lica
- Col·locació dels tancaments
- Pavimentació

La nau s'ha dissenyat optimitzant el màxim els material emprats, bàsicament l'acer i el formigó. Per reduir l'emissió de residus s'intentarà realitzar el màxim la construcció de l'estructura metàl·lica en el taller i així evitar els treballs sobre el solar.

4.1. Detecció i prevenció dels impactes mediambientals.

A la següent taula (figura 4.1.) es pot observar l'impacte ocasionat per la realització del projecte i les corresponents mesures correctores.

IMPACTE	VALORACIÓ	MESURES CORRECTORES
Pols	Moderada	Protecció de la càrrega en els transports i emmagatzematge.
		Regat de les terres per evitar l'aixecament de terres.
Sorolls de maquinària	Compatible	No es realitzaran treballs que originin sorolls i/o molèsties de 8 del vespre a les 8 del matí.
		La maquinària complirà la normativa vigent en quan a contaminació acústica es refereix.
Generació de residus	Moderada	Minimitzar-ne la generació.
		Separació de residus per un posterior reciclatge.
		Manteniment de l'ordre i la neteja en l'àmbit de treball.
Generació de runes	Escassa	Minimitzar-ne la generació.
		Manteniment de l'ordre i la neteja en l'àmbit de treball
Emissió de gasos	Escassa	Utilitzar la maquinària només quan sigui imprescindible.

		Revisió i manteniment periòdic de la maquinària.
Vessament d'agents contaminants	moderada	S'utilitzaran els recipient adequats en cada cas.
		S'emmagatzemaran en una zona segura que garanteixi una no absorció per part del sòl.

Figura 4.1. Taula dels problemes i solucions per la prevenció d'impacte mediambiental.

4.2. Normativa impacte ambiental

Normativa bàsica referent als procediments d'avaluació de l'impacte ambiental sobre el medi d'activitats industrials.

Normativa europea

- Directiva 1985/337, relativa a l'avaluació de les repercussions de determinats projectes públics i privats sobre el medi ambient. DOCE-L núm. 175, de 05.07.1985.

- Directiva 1997/11, relativa a l'avaluació de les repercussions de determinats projectes públics i privats sobre el medi ambient. (Modifica la Directiva 1985/337).

DOCE-L núm. 73, de 14.03.1997.

- Directiva 2001/42, relativa a l'avaluació dels efectes de determinats plans i programes en el medi ambient. DOCE-L núm. 197, de 21.07.2001.

Normativa de l'estat

- Reial Decret Legislatiu 1302/1986, d'avaluació d'impacte ambiental. BOE núm.

155, de 30.06.1986. (incorpora la Directiva 1985/337).

- Reial Decret 1131/1988, pel qual s'aprova el Reglament per l'execució del Reial

Decret Legislatiu 1302/1986, d'avaluació d'impacte ambiental. BOE núm. 239, de

05.10.1988.

- Llei 6/2001, de modificació del Reial Decret Legislatiu 1302/1986, d'avaluació d'impacte ambiental. BOE núm.11, de 09.05.2001. (incorpora la Directiva 1997/11).

Normativa de la Generalitat de Catalunya

- Decret 114/1988, d'avaluació d'impacte ambiental. DOGC núm. 1000, de 03.06.1988.

5. Pressupost

El pressupost de l'obra inclou tres pressupostos diferenciats. El primer pressupost tracta de la confecció del projecte i compren les següents etapes:

- Anàlisi del projecte: plantejament d'alternatives estructurals (25 h, enginyer).
- Anàlisi global de l'estructura de barres: determinació de les càrregues actuant sobre l'estructura i dels esforços que s'hi generen (45 h, enginyer).
- Càlcul de unions: estudi de les unions del pòrtic principal de l'estructura i dels pilars hastials (60 h, enginyer).
- Càlcul de la fonamentació i del paviment: dimensionament i comprovació dels fonaments i del paviment de la nau (25 h, enginyer).
- Confecció dels plànols: elaboració d'un model en 3D per la visualització en detall de l'estructura i l'aspecte final de la nau, i confecció dels plànols en 2D (40 h, enginyer o projectista amb experiència).
- Estudi geotècnic: elaborat per l'empresa EGGA (Estudis Geotècnics i Geologia Aplicada) (1500 €).
- Projecte de la instal·lació fotovoltaica de connexió a xarxa (7500 €, veure annex).
- Desplaçaments i altres: aquí s'inclouen despeses degudes als desplaçaments (visita de la parcel·la i reunions amb propietaris), impressió de plànols, etc.

El segon pressupost fa referència a l'execució de l'obra, detallant cada etapa del procés, quantitat necessària de material i preu per unitat.

El tercer pressupost conté la projecció de la instal·lació solar en coberta.

Els pressupostos són els següents:

Confecció del projecte (figura 5.1.):

Considerant que les hores de feina es cobren a 40 €/h, el pressupost queda de la següent manera:

CONCEPTE	QUANTITAT (h)	COST (€)
Anàlisi de la documentació existent	25	1000
Anàlisi global de l'estructura de barres	45	1800
Càlcul de unions	60	2400
Càlcul de la fonamentació i del paviment	25	1000
Confecció dels plànols	40	1600
Total hores	195	
Desplaçaments i altres	/	100
Projecte instal·lació fotovoltaica	/	7500
Estudi geotècnic	/	1500
TOTAL		16.900

Figura 5.1. Taula del cost de la confecció del projecte.

Execució de l'obra (figura 5.2.):

Partida				
Moviment de terres	Amidament	unitats	€/ut	Total
<p>Esbrossada i neteja del terreny, amb mitjans mecànics. Compren els treballs necessaris per retirar de les zones previstes per a l'edificació o urbanització: arbres, plantes, calcinals, brolla, brossa, fustes caigudes, runes, brosses o qualsevol altre material existent, fins a una profunditat no menor que l'espessor de la capa de terra vegetal, considerant com mínima 25 cm. Inclús transport de la maquinària, retirada dels materials excavats, càrrega a camió i transport a l'abocador autoritzat.</p>	3310	m ²	1,59	5262,9

<p>Excavació de terres a cel obert per formació de rases per fonamentacions fins a una profunditat de 2 m, en qualsevol tipus de terreny, amb mitjans manuals i mecànics, fins assolir la cota de profunditat indicada en el Projecte. Inclús transport de la maquinaria, refinat de paraments i fons d'excavació, extracció de terres fora de l'excavació, retirada dels materials excavats, càrrega a camió i transport a l'abocador autoritzat.</p> <p>Inclou: Replanteig general i fixació dels punts i nivells de referència.</p> <p>Col•locació de les lliteres en els cantons i extrems de les alineacions. Excavació en successives rases horitzontals i extracció de terres.</p> <p>Refinat de fons i laterals a ma, amb extracció de les terres. Càrrega a camió de les terres excavades. Transport de terres a abocador autoritzat.</p>	350	m ³	30,47	10664,5
--	-----	----------------	-------	---------

<p>Transport de terres amb dúmper dels productes procedents de l'excavació de qualsevol tipus de terreny dins la obra, considerant el temps d'espera per a la càrrega manual, anada, descàrrega i tornada. Sense incloure la càrrega en obra.</p> <p>Inclou: Transport de terres dins de l'obra, amb protecció de les mateixes mitjançant la seva cobertura amb teles.</p>	400	m ³	8,47	3388
<p>Transport de terres amb camió dels productes procedents de l'excavació de qualsevol tipus de terreny a abocador específic, instal·lació de tractament de residus de construcció i demolició externa a l'obra o centre de valorització o eliminació de residus, situat a una distància màxima de 20 km, considerant el temps d'espera per a la càrrega en obra, anada, descàrrega i tornada. Sense incloure la càrrega a màquina en obra. construcció.</p> <p>Inclou: Transport de terres a l'abocador específic, instal·lació de tractament de residus de construcció i demolició externa a l'obra o centre de valorització o eliminació de residus, amb protecció de les mateixes</p>	400		4,59	1836

mitjançant la seva cobertura amb teles. Criteri d'amidament de projecte: Volum mesurat sobre les seccions teòriques de les excavacions, incrementades cadascuna d'elles per el seu corresponent coeficient d'esponjament, d'acord amb el tipus de terreny considerat				
Total subcapítol				21151,35
Fonamentació				

<p>Formació de sabata de fonamentació i bigues de lligat de formigó armat HA-25/B/20/IIa fabricat en central i abocada amb cubilot, amb una quantia aproximada d'acer UNE-EN 10080 B 500 S de 50 kg/m³. També p/p d'armadures d'espera del suport. Inclou: Replanteig i traçat de les sabates i dels pilars o altres elements estructurals que es recolzin en les mateixes. Col·locació de separadors i fixació de les armadures. Abocament i compactació del formigó. Coronació i enrasament de fonaments. Curat del formigó.</p>	360	m³	152,54	54914,4
<p>Formació de capa de formigó de neteja i anivellament de fons de fonamentació, de 10 cm d'espessor, mitjançant l'abocament amb cubilot de formigó HL-150/B/20 fabricat en central en el fons de l'excavació prèviament realitzada. Inclou: Replanteig. Col·locació de tocs i/o formació de mestres. Abocament i compactació del formigó. Coronació i enrasament del formigó</p>	250	m²	7,43	1857,5

<p>Formació d'emmacat de 10 cm d'espessor en caixa per base de solera, mitjançant reblert i estès en tongades d'espessor no superior a 20 cm de graves procedents de pedrera calcària de 40/80 mm; i posterior compactació mitjançant equip manual amb corró vibrant dúplex autopropulsat, sobre l'esplanada homogènia i anivellada (no inclosa en aquest preu). Inclús rebaix i caixejat en terra, fent servir els mitjans mecànics, i càrrega mecànica sobre camió, càrrega, transport i descàrrega a peu de tall dels àrids a utilitzar en els feines de reblert i regat dels mateixos.</p> <p>Inclou: Rebaix i caixejat de terres per allotjament de l'emmacat. Càrrega mecànica sobre camió del terra excavat. Transport i descàrrega del material a peu de tall. Estès del material de farciment en tongadas d'espessor uniforme. Rec de la capa. Compactació i anivellació.</p>	2000	m²	5,4	10800
--	------	----	-----	-------

<p>Formació de solera de 20 cm d'espessor, de formigó armat HA-25/B/20/IIa+Qa fabricat en central amb ciment SR, i abocada amb cubilot, armada amb malla electrosoldada ME 15x15 de Ø 10 mm, acer B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080, per servir de base a un paviment, sense tractament de la seva superfície; realitzada sobre capa base existent (no inclosa en aquest preu). Inclús p/p de preparació de la superfície de recolzament del formigó, estès i vibrat del formigó mitjançant regla vibrant, formació de juntes de formigonat i planxa de poliestirè expandit de 2 cm d'espessor per a l'execució de juntes de contorn, col·locada al voltant de qualsevol element que interrompi la sola, com pilars i murs; i embroquetat o connexió dels elements exteriors (marcs de pericons, boneres, caixes sifòniques, etc.) de les xarxes d'instal·lacions executades sota la solera.</p> <p>Inclou: Preparació de la superfície de recolzament del formigó, comprovant la densitat i les rasants. Replanteig de les juntes de</p>	2000	m²	23,29	46480
---	------	----	-------	-------

formigonat. Estesa de nivells mitjançant tocaments, mestres de formigó o regles. Reg de la superfície base. Preparació de juntes.				
Total subcapítol				114051,9
Estructura				

<p>Subministrament i muntatge d'acer laminat UNE-EN 10025 S275JR, en perfils laminats en calent, peces simples de les sèries IPN, IPE, UPN, HEA, HEB, o tubulars, mitjançant unions soldades o cargolades. Treballat i muntat en taller, amb preparació de superfícies en grau SA21/2 segons UNE-EN ISO 8501-1 i aplicació posterior de dues mans d'imprimació amb pintura de mini electrolític amb un espessor de 40 microns per ma, excepte en la zona en que han de realitzar-se soldadures en obra, en una distància de 100 mm des de la vora de la soldadura. Inclús p/p de preparació de cantells, soldadures, talls, peces especials, escapçadures i reparació en obra de quants retocs i/o desperfectes s'originin per raons de transport, manipulació o muntatge, amb el mateix grau de preparació de superfícies i imprimació.</p> <p>Inclou: Replanteig del muntant d'escala. Col•locació i fixació provisional dels perfils.</p> <p>Aplomat i anivellació. Execució de les unions. Reparació de defectes superficials.</p>	122500	kg	1,57	192325
--	--------	----	------	--------

Acer S275JRC en corretges metàl·liques, amb peces simples de perfils conformats en fred de les sèries C o Z, galvanitzat i col·locat en obra amb cargols	22000	kg	2,35	51700
Subministrament i muntatge de placa d'ancoratge d'acer UNE-EN 10025 S275JR en perfil pla, fins a 650x650 mm i gruix 25 mm, amb 4 perns soldats, d'acer corrugat UNE-EN 10080 B 500 S de 32 mm de diàmetre i 55 cm de longitud total. Treballat i muntat en taller. Fins i tot p/p de trepant central, preparació de vores, bisellat al voltant del trepant per a millorar la unió del pern a la cara superior de la placa, soldadures, talls, pletines, peces especials, escapçadures i reparació en obra de quants retocs i/o desperfectes s'originin per raons de transport, manipulació o muntatge. Inclou: Neteja i preparació del plànol de suport. Replanteig i marcat dels eixos. Col·locació i fixació provisional de la placa. Aplomat i anivellació.	56	m²	86,62	4850,72

Formació de forjat de llosa mixta, cantell 12 cm, amb xapa col•laborant d'acer galvanitzat de 0,8 mm d'espessor, de 200/210 mm de passada de malla i 60 mm d'altura màxima i formigó armat HA-25/B/20/lia. Inclou: Replanteig. Montatge de les xapes. Apuntament, si fos necessari. Fixació de les xapes i resolució dels suports. Col•locació d'armadures amb separadors homologats	750	m²	47	35250
Total subcapítol				284125,72
Tancaments				
Execució de mur de càrrega, de 12 cm d'espessor de fàbrica, de bloc buit resistent de formigó gris, sense hidrofugant, 50x20x12 cm, per revestir, rebuda amb morter de ciment M-7,5, amb armat horitzontal "MURFOR" RND.4/Z 30 mm, amb part proporcional de cavalcaments i ganxos per llindes i cantoneres, Inclou: Neteja i preparació de la superfície suport. Replanteig. Col•locació i aplomat de mires de referència. Estesa de fils entre mires. Col•locació dels blocs per filades a nivell. Col•locació d'armadures en llença. Col•locació de les armadures en la	162	m²	30,88	5002,56

faixa armada de lligat perimetral i posterior reblert de formigó. Abocat, vibrat i curat del formigó. Realització de tots els treballs necessaris per a la resolució de buits.				
---	--	--	--	--

Subministrament i muntatge de tancament de façana amb panell sandwich aïllant per a façana ample, format per dos paraments de xapa nervada d'acer galvanitzat, amb junta dissenyada per a fixació amb cargols amagats, vores i accessoris. Inclou: Replanteig dels panells. Col•locació de la rematada inferior de la façana. Col•locació de juntes. Col•locació i fixació del primer panell. Col•locació i fixació de la resta de panells, segons l'ordre indicat. Acabaments. Realització de proves de servei. Criteri d'amidament de projecte: Superfície mesurada segons documentació gràfica de Projecte, sense duplicar cantonades ni encontres, deduint els buits de superfície major de 3 m².	1486	m²	105,35	156550,1
Total subcapítol				161552,66
Seguretat i salut				43580,25
Total				580.881,63

Figura 5.2. taula del cost de la construcció de la nau.

Projecció instal·lació solar (figura 5.3.):

A la següent taula es mostra el pressupost detallat amb el material necessari, mà d'obra i transport per al muntatge i la posada en marxa de la instal·lació fotovoltaica.

DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	PREU (euros)
Panells, subestructura, inversors i transports		
Mòdul fotovoltaic de silici monocristal·lí, model SUNPORT 72M, 280 Wp	360	317520
Transport dels panells fotovoltaics per carretera amb camió,	1	625
Inversor de connexió a xarxa, Pn = 10 kW, model NT 10000	10	39000
Transport dels mòduls fotovoltaics dels inversors amb	1	560
Subestructura de suport i mà d'obra		16380
Total		374085
Instal·lació elèctrica		
Interruptor bipolar de CC per aplicacions fotovoltaïques, model S800PV-M (ABB), In = 32 A	10	435
Interruptor automàtic magnetotèrmic tetrapolar de CA per aplicacions fotovoltaïques, model S800PV-S (ABB), In = 25 A, Icu = 5 kA	10	380
Caixa estanca para proteccions de CC y CA individuals per cada inversor, amb porta transparent i	10	440

obertura lateral		
Interruptor automàtic magnetotèrmic general tetrapolar, model Tmax T1-C (ABB), $I_n = 160$ A, $I_{cu} = 25$ kA	2	425
Interruptor diferencial, model RC221-T1 (ABB), 4 polos, $I_n = 200$ A, y sensibilitat 300 mA, més diferencial toroïdal amb retard i sensibilitat ajustada a 300 mA	2	1584
Conductor solar de 4 mm ² per CC (CONSTRUMÀTICA)	200	188
Conductor solar de 6 mm ² per CC (CONSTRUMÀTICA)	1200	1488,4
Caixa estanca per canvi de secció de 4 a 6 mm ²	60	756
Conductor de coure tetrapolar de 25 mm ² amb doble aïllament, 0,6/1 kV, per CA	80	328,8
Conductor de coure tetrapolar de 185 mm ² amb doble aïllament, 0,6/1 kV, para CA	150	9742,5
Comptador trifàsic bidireccional de lectura indirecta, model ORBITAX r4hcl10T3 (ORBIS)	1	848
Transformador de corrent 200/5 per lectura indirecta	3	66
Fusibles tipus ganivet connectats segons esquema 7, $I_{màx} = 200$ A	3	60

(bases de grandària NH1)		
Embarrat de 4 fases, de coure, secció 30x5x300mm	2	215
Caixa estanca precintable, amb tapa transparent per quadre de comptadors (dimensions a determinar per la companyia distribuïdora)	9	270
Caixa de seccionament (CS). Característiques a determinar per part de la companyia distribuïdora	1	124
Elements de connexió a terra (cablejat de coure de 25 mm ² sense protecció, piquetes, etc.)		345
Total		17696
Canalització de cablejat		
Safata metàl·lica tipus rejiband	150	5655
Safata PVC llis	60	900
Rasa de 80 cm de profunditat, 20 cm d'amplada i 90 m de llarg		1150
Total		7705
Mà d'obra		
Col·locació dels panells i inversores	40	1600
Total		1600
Enginyeria		
Feines realitzades per enginyers, projectistes...		7500
TOTAL INSTAL·LACIÓ		408.586

Figura 5.3. Pressupost de la instal·lació fotovoltaica.

El pressupost total de la instal·lació serà la suma dels tres pressupostos, que inclouen totes les etapes necessàries per edificar una nau industrial, des de l'estudi i disseny de la nau fins l'execució final de l'obra així com la projecció de la instal·lació solar. Es pot consultar el cost total de la instal·lació a la (figura 5.4.)

Etapa	€
Confecció del projecte	16900
Execució de l'obra	580881,63
Projecció instal·lació solar.	408556
Total obra	1.006.337,6

Figura 5.4. Cost total de la instal·lació.

6. Rendibilitat econòmica

Per realitzar l'estudi de rendibilitat econòmica s'ha utilitzat un full de càlcul d'elaboració pròpia en el que es tenen en compte les següents consideracions:

- Amortitzacions d'actius (panells, inversors, subestructura de suport i instal·lació elèctrica) en 20 anys.
- Estimació de despeses.

Assegurança: 1500 €/any (afectat per una inflació del 3 % anual).

Manteniment general: estimat com el 0,3 % anual del preu total de la instal·lació (afectat també per una inflació del 3 % anual).

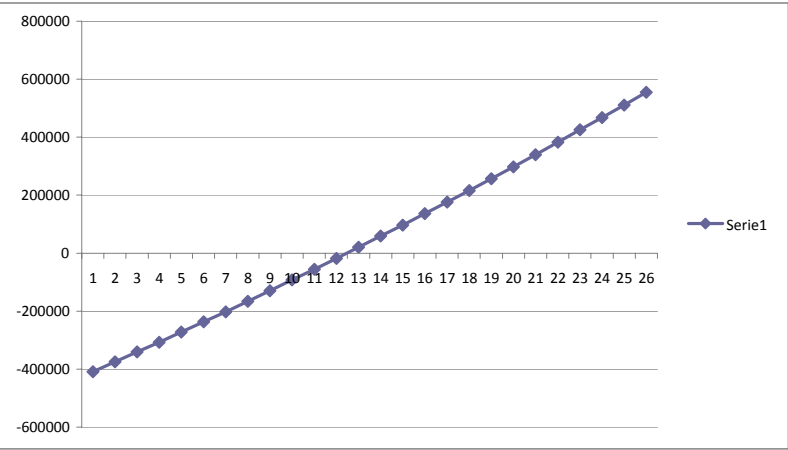
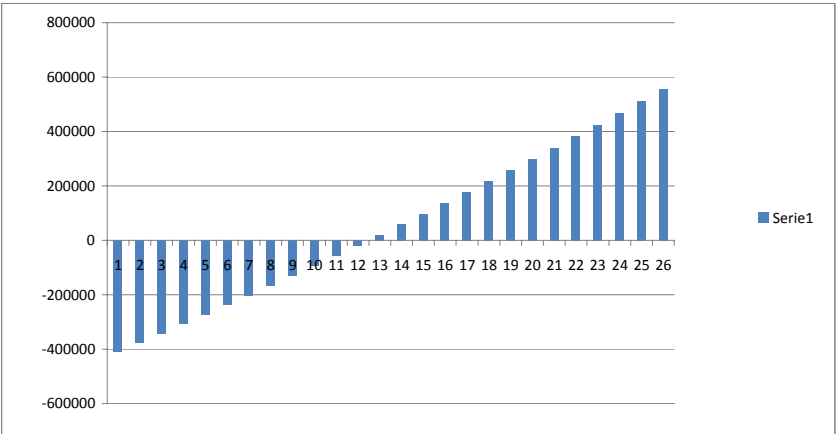
- Estimació dels ingressos per venda d'energia considerant una petita disminució de la producció anual (0,5 %);
- Com a taxa de variació del preu de venda de l'electricitat s'ha adoptat un 2 %.

Els resultats de l'anàlisi determinen que el projecte és viable ja que el *pay back* es situa en un període de 12 anys. Punt on el qual l' instal·lació començarà a ser rendible.

AMORTITZACIÓ D'ACTIUS																					
Període		ANY 1	ANY 2	ANY 3	ANY 4	ANY 5	ANY 6	ANY 7	ANY 8	ANY 9	ANY 10	ANY 11	ANY 12	ANY 13	ANY 14	ANY 15	ANY 16	ANY 17	ANY 18	ANY 19	ANY 20
Inversors (€)																					
Mòduls fotovoltaics (€)																					
Resta de la instal·lació elèct																					
Subestructura dels suports																					
Amortització a 20 anys																					
Amortització anual (€)		19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576
Valor net (€)		-19576	-39152	-58728	-78304	-97880	-117456	-137032	-156608	-176184	-195760	-215336	-234912	-254488	-274064	-293640	-313216	-332792	-352368	-371944	-391520
Total dotacions (€)		19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576

CÀLCUL DE LA RENDIBILITAT																										
Període	ANY 0	ANY 1	ANY 2	ANY 3	ANY 4	ANY 5	ANY 6	ANY 7	ANY 8	ANY 9	ANY 10	ANY 11	ANY 12	ANY 13	ANY 14	ANY 15	ANY 16	ANY 17	ANY 18	ANY 19	ANY 20	ANY 21	ANY 22	ANY 23	ANY 24	ANY 25
Inversió material (€)	408586																									
Preu de venda de l'energia (€/kWh)		0,32	0,33	0,33	0,34	0,35	0,35	0,36	0,37	0,39	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,51
Pèrdua de rendiment anual																										
IPC aplicat a la venda d'energia (€/any)																										
Ingressos (€)																										
Producció anual d'energia (kWh)		131355,72	130698,94	130045,45	129395,22	128748,24	128104,50	127463,98	126826,66	126192,53	125561,56	124933,76	124309,09	123687,54	123069,10	122453,76	121841,49	121232,28	120626,12	120022,99	119422,88	118825,76	118231,63	117640,47	117052,27	116467,01
Venda d'energia (€)		42033,83	43130,65	42915,00	43994,37	45061,89	44836,58	45887,03	46925,86	49215,09	47713,39	48724,16	49723,63	50711,89	50458,33	51430,58	52391,84	53342,20	54281,75	55210,58	56128,75	57036,37	57933,50	57643,83	58526,14	59398,18
Despeses (€)																										
Assegurança		1500	1545	1591,35	1639,09	1688,26	1738,91	1791,08	1844,81	1900,16	1957,16	2015,87	2076,35	2138,64	2202,80	2268,88	2336,95	2407,06	2479,27	2553,65	2630,26	2709,17	2790,44	2874,16	2960,38	3049,19
Manteniment		1203,26	1239,36	1276,54	1314,83	1354,28	1394,91	1436,75	1479,86	1524,25	1569,98	1617,08	1665,59	1715,56	1767,02	1820,04	1874,64	1930,88	1988,80	2048,47	2109,92	2173,22	2238,41	2305,57	2374,73	2445,98
Total despeses (€)		2703,26	2784,36	2867,89	2953,92	3042,54	3133,82	3227,83	3324,67	3424,41	3527,14	3632,95	3741,94	3854,20	3969,83	4088,92	4211,59	4337,94	4468,07	4602,12	4740,18	4882,38	5028,86	5179,72	5335,11	5495,17
Marge brut operatiu (€)	-408586	39330,57	40346,29	40047,11	41040,45	42019,34	41702,76	42659,20	43601,20	45790,68	44186,26	45091,21	45981,69	46857,69	46488,51	47341,66	48180,25	49004,27	49813,68	50608,46	51388,57	52153,98	52904,64	52464,11	53191,02	53903,01
Amortitzacions (€)		19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576
Benefici sense impostos (€)		19754,57	20770,29	20471,11	21464,45	22443,34	22126,76	23083,20	24025,20	26214,68	24610,26	25515,21	26405,69	27281,69	26912,51	27765,66	28604,25	29428,27	30237,68	31032,46	31812,57	32577,98	33328,64	32888,11	33615,02	34327,01
Benefici després impostos (€)		13828,20	14539,21	14329,78	15025,12	15710,34	15488,73	16158,24	16817,64	18350,28	17227,18	17860,65	18483,99	19097,18	18838,76	19435,96	20022,98	20599,79	21166,38	21722,72	22268,80	22804,59	23330,05	23021,68	23530,52	24028,91
Amortitzacions (€)		19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576	19576
Fonts generats (€)	-408586	33404,20	34115,21	33905,78	34601,12	35286,34	35064,73	35734,24	36393,64	37926,28	36803,18	37436,65	38059,99	38673,18	38414,76	39011,96	39598,98	40175,79	40742,38	41298,72	41844,80	42380,59	42906,05	42597,68	43106,52	43604,91
Ingressos acumulats (€)	0	33404,2	67519,41	101425,18	136026,30	171312,64	206377,37	242111,61	278505,25	316431,53	353234,71	390671,35	428731,34	467404,52	505819,28	544831,24	584430,22	624606,01	665348,38	706647,10	748491,90	790872,49	833778,54	876376,22	919482,73	963087,64
Benefici net de capital (€)	-408586	-375181,80	-341066,59	-307160,82	-272559,70	-237273,36	-202208,63	-166474,39	-130080,75	-92154,47	-55351,29	-17914,64	20145,34	58818,53	97233,28	136245,24	175844,22	216020,01	256762,38	298061,10	339905,91	382286,49	425192,54	467790,22	510896,73	554501,64

PAY BACK 12 anys



7. Conclusions

CYPE 2011

Els resultats de l'anàlisi de l'estructura obtinguts manualment, són pràcticament idèntics als mateixos resultats obtinguts en el software de càlcul. Per tant es pot concloure que els càlculs són correctes i el programa "CYPE 2011 nou metall 3d" és molt fiable.

Això no significa que els resultats que doni el programa siguin sempre correctes, ja que una bona modelització de l'estructura i la correcta introducció de les longituds de vinclament i de bolcada lateral és bàsica per obtenir resultats acceptables.

Els resultats obtingut manualment de les unions també són bastant similars als obtinguts pel programa. Tot i que hi ha discrepàncies en algunes verificacions, aquestes són sempre pel costat de seguretat.

El que no he valorat gaire positivament en les consideracions que realitza el programa o els procediments per arribar al resultat final. El programa dona un recull de resultats bastant ampli però a partir d'un punt passa donar només un resultat o dimensionament final. Tot i que reconec que un poc coneixement del programa també n'és la causa.

El que no és gaire recomanable és realitzar estudis en tres dimensions, ja que el programa treballa molt millor i molt més ràpidament, si el model s'analitza en dues dimensions. I perquè el programa respongui ràpidament no has de deixar que dimensioni els perfils sinó definir-lo previament.

En resum les sensacions amb el software de càlcul són positives.

Instal·lació solar fotovoltaica.

La conclusió que es pot treure de l'estudi realitzat és que si no es fan més instal·lacions fotovoltaïques sobre les cobertes de naus industrials és per falta de iniciativa, o per prejudicis infundats sobre aquest tipus de instal·lacions.

Hi ha molta gent que opina que els panells fotovoltaïcs sobre la coberta d'una nau industrial són antiestètics, o que les càrregues de vent degudes a la

instal·lació suposen un encariment de l'estructura principal de la nau, o que no queda assegurada l'estanquitat de la coberta, o inclús que aquest tipus de tecnologia té rendiments massa baixos (en comparació per exemple a l'energia eòlica) i per tant no val la pena invertir-hi.

Tot això pot ser veritat si es pretén realitzar una instal·lació amb orientació i inclinació òptima a sobre de qualsevol coberta, però precisament l'estudi de viabilitat tècnica i econòmica es basa en avaluar aquests problemes. Així, s'accepten unes determinades pèrdues respecte a la producció màxima d'energia que es podria obtenir, evitant alhora problemes d'estanquitat i haver de sobredimensionar l'estructura principal.

Un altre fet que no afavoreix gens la proliferació de iniciatives en aquest tipus de projectes és la baixada de la retribució en la venda de l'electricitat per kW·h produït (imposada pel Reial Decret 1578/2008, de 26 de setembre). És cert que s'havia de frenar el creixement totalment desproporcionat de les instal·lacions fotovoltaïques que hi ha hagut els darrers anys (sobretot pel que fa als anomenats "horts solars"), però amb la legislació actual a Espanya, una instal·lació com la projectada no pot rebre la retribució màxima si té una potència superior de 20 kW.

Aquest límit de potència abans estava als 100 kW, que coincideix amb la potència màxima per poder injectar a la xarxa de baixa tensió, i era un bon límit per impulsar instal·lacions fotovoltaïques com la proposada.

Malauradament, la restricció de potència de 20 kW i la poca predisposició actual dels bancs i caixes per deixar diners, enlloc de impulsar aquests tipus de inversions no fa més que frenar-les.

Càlculs manuals.

La part de càlculs manuals m'ha permès aprofundir en el camp del càlcul estructural iniciat a la carrera.

La conclusió que he extret és que hi ha molt material i molta normativa a tenir en compte alhora de començar a definir i calcular una estructura, ja sigui metàl·lica o de formigó.

Bàsicament he fet servir el CTE que és una adaptació de l'Eurocodi, tot i que hi ha aspectes que encara no estan del tot clars ja que l'empresa Aenor, l'encarregada de dictar les normes no ha arribat a un conveni.

En resum aquest projecte m'ha aportat una visió molt àmplia de com funciona el tema del càlcul d'estructures (normativa, disseny estructural, verificacions...). Ha sigut una experiència molt positiva.

8. Agraïments.

Primerament un agraïment a la tutora del projecte Marta Musté, per la seva dedicació i paciència. Així com a la resta de membres del departament, ja que sempre que he acudit a ells m'han ajudat.

En segon lloc, voldria agrair al departament d'estructures i de fonaments de la tecnologia elèctrica de l' ETSEIB, que m'hagin dedicat el seu temps aclarint dubte i facilitant-me material docent de normativa, exemples de càlculs, i softwares informàtics. També una menció especial al professor Joan Bisbal per l'ajuda en l'apartat de càlculs manuals i temes relacionats amb el formigó.

9. Bibliografia.

Referències bibliogràfiques

- Código Técnico de la Edificación 2006 (CTE), Parte 2 DB-SE (Documento Básico –Seguridad Estructural), Març 2006.
- Código Técnico de la Edificación 2006 (CTE), Parte 2 DB-A (Documento Básico –Acero), Març 2006.
- Código Técnico de la Edificación 2006 (CTE), Parte 2 DB-SE-AE (Documento Básico– Seguridad Estructural - Acciones en la Edificación), Març 2006.
- Código Técnico de la Edificación 2006 (CTE), Parte 2 DB-SE-C (Documento Básico –Seguridad Estructural – Cimientos), Març 2006.
- Código Técnico de la Edificación 2006 (CTE), DB-HS (Documento Básico –
- Salubridad), Març 2006.
- AENOR, Eurocódigo 3 (EC-3).
- EPSEVG (Marta Musté) Apunts de la diplomatura d'Enginyeria mecànica.
- EPSEVG (Joan Totusaús) Apunts de la diplomatura d'Enginyeria mecànica.
- EPSEVG (Juanjo Vázquez) Apunts de la diplomatura d'Enginyeria mecànica.
- Estructura de Hormigón Estructural EHE 08.
- P. JIMENEZ MONTOYA, A. GARCIA MESEGUER, F. MORAN CABRE, Hormigón armado (toms I i II), Editorial Gustavo Gili, Barcelona 1991 (13^a edició).
- Nou Pla de foment de les Energies Renovables en compromís amb la Llei 54/1997 del 27 de novembre que estableix l'objectiu d'arribar al 12 % d'aportació de les energies renovables a la demanda energètica a Espanya a l'any 2010. Proposta recollida al “ Llibre Blanc de les Energies Renovables “ de la Unió Europea. Aquest objectiu significa duplicar la participació de 1998 en energies renovables.

- Llei 54/1997 del 27 de novembre del sector elèctric, que té per objecte regular les activitats destinades al subministrament d'energies elèctriques consistent en la seva generació, transport, distribució, serveis de recàrrega energètica comercialització i intercanvis intracomunitaris i internacionals així com la gestió econòmica i tècnica del sistema elèctric.
- Reial Decret 2818/1998 del 23 de desembre, sobre producció elèctrica d'instal·lacions que s'abasteixen d'energies renovables, té per objectiu el desenvolupament reglamentari del la Llei 54/1997 del 27 de novembre pel que fa als requisits i procediments de inscripció en el registre corresponent, a les condicions d'entregues d'energia i al règim econòmic
- Reial Decret 1663/2000 del 29 de setembre, sobre la connexió d'instal·lacions fotovoltaïques a la xarxa de baixa tensió.
- Reial Decret 436/2004 del 12 de març, en el que s'estableix la metodologia per a l'actualització i sistematització del règim jurídic i econòmic de l'activitat de producció elèctrica en règim especial.
- Reial Decret 661/2007 del 25 de maig pel que es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial i determina el preu de venda en funció del tipus d'instal·lació.
- Reial Decret 1578/2008 del 26 de setembre, en que es modifica la retribució de l'activitat de producció d'energia elèctrica mitjançant tecnologia solar fotovoltaica per instal·lacions posteriors a la data límit de manteniment que s'exposa a la retribució del Reial Decret 661/2007 del 25 de maig.
- Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió amb les seves corresponents ITC, Instruccions Tècniques Complementàries. Especialment la ITC-BT 40, que es refereix a les instal·lacions elèctriques de baixa tensió.
- Reial Decret 842/2002 del 2 d'agost, per el que s'aprova el Reglament Electrotècnic e Baixa Tensió. (REBT).

Pàgines web

- <http://www.toyota.es> (empresa TOYOTA).
- <http://www.constructalia.com> (Arcelor-Mittal).
- http://www.portalplanetasedna.com.ar/ingenieria/tabla_perfiles_laminados (prontuari de perfils laminats).
- <http://www.construnario.com/diccionario/swf/27013/perfiles%20de%20cortinas>. (prontuari de perfils conformats).
- <http://www.cuantumsolar.com> (dispositius instal·lació fotovoltaica).
- <http://www.tycoelectronics.com/default.aspx> (dispositius instal·lació fotovoltaica).
- <http://www.abb.com/ProductGuide> (dispositius instal·lació fotovoltaica).
- <http://75.125.60.8/~schlette/home.html> (elements de subjecció dels panells).
- <http://www.construmatica.com/bedec/f/2173> (preus de dispositius electrònics).
- <http://es.kyero.com/weather/4234-la-garriga-tiempo> (temperatures mitjanes).
- <http://www.voltimum.es/search/zona+pluviometrica+isoyeta+mapa+espana.html> (taules pluviomètriques).
- http://www.ieca.es/detPublicaciones.asp?id_rep=75&Hoja=3 (plec de condicions per eslanades).
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6338/15/15-E02-ESTRUCTURA%20DETALLS.pdf> (forjat col·laborant).
- <http://www.alusink.com/pdf/MUR-50.pdf> (mur cortina).
- <http://www.aridosantolin.es/prefabricados/productos/bloques.htm> (mur perimetral).
- <http://www.wallroof.com/> (Central del panel, tancaments de xapa).